



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO QUE DESPLIEGA DE
FORMA AUTÓNOMA EL PARACAÍDAS DE UN VEHÍCULO AÉREO NO
TRIPULADO**

HOLLMAN DANILO GUEVARA ROMERO

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AERONÁUTICA
BOGOTÁ, D. C.
2017**



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO QUE DESPLIEGA DE
FORMA AUTÓNOMA EL PARACAÍDAS DE UN VEHÍCULO AÉREO NO
TRIPULADO**

**HOLLMAN DANILO GUEVARA ROMERO
ESTUDIANTE DE INGENIERÍA AERONÁUTICA**

**PASANTÍA ORGANIZACIONAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
AERONÁUTICO**

**TUTOR:
ING. ANDRES FELIPE GIRALDO QUICENO**

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AERONÁUTICA
BOGOTÁ, D. C.
2017**



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del Jurado

Bogotá, Diciembre de 2017



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Las directivas de la Fundación Universitaria los Libertadores, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Agradecimientos

Especialmente a

Designing Innovation S.A.S.

Y también, por orden alfabético, a:

Luis Alberto Guevara Castro

Stella Romero Barrero

Sin olvidar a todos los familiares y amigos que me han apoyado durante estos años.



Dedicatoria

*Con todo mi cariño y mi amor para las personas que junto a mí disfrutan de este bello viaje por la vida, por animarme y apoyarme cuando más lo necesito, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.
Papá, mamá y familia.*

“El valor de una educación universitaria no es el aprendizaje de muchos datos, sino el entrenamiento de la mente para pensar.”

Albert Einstein



Contenido

INTRODUCCIÓN	16
OBJETIVOS	18
Objetivo general:	18
Objetivos específicos:	18
1. ASPECTOS CIENTIFICOS	19
1.1 CAUSAS POR LAS QUE SE REALIZA EL PROYECTO.....	19
1.2 ANTECEDENTES Y REVISIÓN DEL CONOCIMIENTO DISPONIBLE	19
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	20
1.4 LIMITACIONES	21
2. METODOLOGÍA GENERAL.....	22
2.1 ESTRUCTURA DE CADA CAPITULO.....	22
3. MARCO TEÓRICO.....	24
3.1 EVOLUCION UAV´S.....	24
3.2 SKYWALKER X8.....	25
3.3 SISTEMAS DE RECUPERACIÓN.....	26
3.3.1 MARTS PARACHUTES	27
3.3.2 MAYDAY	27
3.3.3 SKYHOOK	28
3.3.4 AIRBAGS	29
3.3.5 DI PARACHUTES	29
4. REGLAMENTACIÓN RELACIONADA CON LOS SISTEMAS DE RECUPERACIÓN EN LOS UAV.....	31
4.1 REGULACIÓN EN COLOMBIA	31
4.2 REGULACIÓN EN NORTE AMÉRICA	31
4.3 REGULACIONES EN LATINOAMÉRICA	32
4.4 REGULACIÓN EN ASIA.....	33
4.5 REGLAMENTO EN EUROPA.....	34
4.6 REGULACIÓN EN ÁFRICA.....	35
4.7 CONCLUSIÓN SOBRE REGLAMENTACIÓN Y NORMATIVIDAD	35
5. ESTADÍSTICA SOBRE CAUSAS DE ACCIDENTALIDAD.....	36



5.1	FORMULACIÓN DE LA ENCUESTA.....	36
5.2	FICHA TÉCNICA DE LA ENCUESTA.....	37
5.3	RESULTADOS DE LA ENCUESTA.....	38
5.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS	40
6.	DISEÑO DEL ALGORITMO	41
6.1	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	41
6.2	ANÁLISIS DEL PROBLEMA.....	41
6.3	DIAGRAMA DE FLUJO	41
7.	AVIÓNICA Y SOFTWARE DISPONIBLE	43
7.1	PIXHAWK	43
7.2	MISSION PLANNER.....	44
7.3	ARDUINO	45
7.3.1	Arduino UNO	46
7.3.2	Arduino Nano	47
7.4	BMP180.....	48
7.5	PRESIÓN ATMOSFÉRICA.....	49
7.5.1	BAROMETRO	50
7.5.2	ALTIMETRO.....	51
7.6	SENSOR BLUETOOTH HC-06	51
7.7	COMPONENTES POR INTEGRAR.....	53
8.	CODIGO Y PROGRAMACIÓN.....	54
8.1	LIBRERÍA PARA EL SENSOR DE PRESIÓN BMP180.....	54
8.2	COMPROBACIÓN Y FRAGMENTO DEL CÓDIGO	55
9.	CONEXIONES E INTEGRACIÓN	56
10.	PRUEBAS Y ANALISIS DE RESULTADOS	60
10.1	PRUEBA 1: prueba de escalera	60
10.1.1	Resultado.....	60
10.2	PRUEBA 2: MULTIRROTOR.....	61
10.2.1	Resultado.....	62
10.3	PRUEBA 3: SKYWALKER X8	63
10.3.1	Resultado.....	64
10.4	LECCIONES APRENDIDAS.....	65
11.	CONCLUSIONES	67



12. COSTOS RELACIONADOS AL PROYECTO	68
BIBLIOGRAFIA	69
ANEXO 1. CÓDIGO EMPLEADO PARA EL FUNCIONAMIENTO DE SHGR	71
ANEXO 2. INFORMACIÓN GENERAL SOBRE EL LUGAR DONDE SE REALIZA EL PROYECTO	74



INDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Air <i>Frame skywalker X8</i>	26
Ilustración 2. Montaje de MAYDAY en Multirrotor	28
Ilustración 3. Airbag en UAV	29
Ilustración 4. DI parachute instalado en <i>Skaywalker X8</i>	30
Ilustración 5. Encuesta vista en formularios de Google	37
Ilustración 6. Publicación de encuesta en páginas de Facebook	38
Ilustración 7. Diagrama de flujo	42
Ilustración 8 Pixhawk y periféricos	44
Ilustración 9 Rovers con Mission Planner	45
Ilustración 10 Arduino UNO	47
Ilustración 11 Arduino Nano	48
Ilustración 12 Sensor BMP180	49
Ilustración 13 Barómetro Aneroide	51
Ilustración 14 conexión de Arduino a bluetooth	52
Ilustración 15 conexión Arduino a BMP180	56
Ilustración 16 Conexiones en Arduino UNO	57
Ilustración 17 Montaje de SHGR en <i>protoboard</i>	58
Ilustración 18. Diseño de PCB del SHGR	59
Ilustración 19. Paracaídas y SHGR	61
Ilustración 20 Aterrizaje con SHGR	63
Ilustración 21. Aterrizaje exitoso de <i>Skywalker X8</i> con SHGR instalado.	65
Ilustración 22. Diagrama de ciclo de vida de producto.	75
Ilustración 23. Diagrama de ciclo de vida de producto.	75



INDICE DE GRAFICAS

Grafica 1. Impacto económico de la industria de los drones en U.S.	25
Grafica 2. Torta porcentual pregunta 1	39
Grafica 3. Torta porcentual pregunta 3	39
Grafica 4. Torta porcentual pregunta 5	39



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ficha técnica encuesta	38
Tabla 2. Matriz de riesgo	40
Tabla 3. Características de Arduino uno	47
Tabla 4. Características Arduino nano	48
Tabla 5. características BMP180	49
Tabla 6. Tabla de costos del proyecto	68

GLOSARIO

AVOIDANCE DRONE: sistemas desarrollados para evadir obstáculos y ayudar a evitar accidentes en vehículos autónomos.

BEC: Circuito regulador de batería

CNC: Centro de mecanizado por control numérico computarizado

DGCA: *Directorate General of Civil Aviation*

ESC: Control de velocidad electrónico

FRAME: Término usado del idioma inglés para referirse a la estructura de un UAV.

GADGET: Es un dispositivo que tiene un propósito y una función específica, generalmente de pequeñas proporciones, práctico y a la vez novedoso

I/O: (IN/OUT) entradas y salidas

IDE: Es el Entorno de Desarrollo Integrado de Arduino, software que implementa el lenguaje de programación *Processing/Wiring*.

PSM: Modulo sensor de poder

PWM: Modulación de anchura de pulso

RPA: Aeronave tripulada remota

RPAS: Sistema aéreo pilotado remotamente

SHOOTING GUARD: *SHGR* (Escolta o guardaespaldas traducido del inglés) traducido textualmente es disparo seguro y es el nombre que se le da al dispositivo desarrollado en este proyecto.

TCAS: (Alerta de tráfico y sistema de evitación de colisiones) indica una posibilidad de colisión con otro avión.

UAS: sistema aéreo no tripulado

UAV: vehículo aéreo no tripulado

RESUMEN

Este documento describe el proyecto desarrollado como opción de grado para obtener el título de ingeniero aeronáutico de la Fundación Universitaria Los Libertadores en la modalidad de pasantía organizacional con la empresa *Designing Innovation*, para la que se diseñó y construyó un dispositivo, que asiste a una aeronave no tripulada en el despliegue de su paracaídas de forma autónoma, al detectar una anomalía en vuelo que pueda poner en riesgo personal civil, propiedad privada, la aeronave o los equipos que en la aeronave se transportan, también en el caso de detectar una alerta temprana o al programar un punto de aterrizaje específico. Apoyado en tecnología desarrollada en la compañía y otra disponible de forma comercial, además se hace uso de software de código abierto que permite complementar el conocimiento disponible y otorgar una solución integral a la industria y comunidad que se desempeña en los diferentes campos de aplicación de los vehículos aéreos no tripulados, quienes han convertido el desarrollo de esta tecnología en una herramienta de trabajo; lo que genera no solo una responsabilidad contractual y civil sino también legal. Lo anterior responde a la proyección de cómo esta tecnología converge en el sector aeronáutico, dada su capacidad de desplazarse en espacio aéreo, lo que requiere niveles de seguridad redundantes, rendimiento idóneo aerodinámicamente, sistemas de aviónica que aporten a la navegación y control, siempre prestando atención a que su implementación a nivel industrial va en aumento y puede significar que su masificación termine por no tener en cuenta lo que la aviación ha perpetuado en su diligente trabajo de estandarizar y reglamentar el espacio aéreo.

Términos o palabras clave:

- UAV
- Paracaídas
- Altímetro
- Arduino
- BMP180



ABSTRACT

This document describes the project developed as an option of degree to obtain the title of aeronautical engineer of the Fundación Universitaria Los Libertadores in the modality of organizational internship with the company Designing Innovation, for which Designed and built a device, which assists an unmanned aircraft in the deployment of its parachute autonomously, by detecting an anomaly in flight that can put at risk civilian personnel, private property, the aircraft or equipment in the aircraft They carry, also in the case of detecting an early warning or when scheduling a specific landing point. Supported by technology developed in the company and other commercially available, it also makes use of open source software that allows to complement the available knowledge and to give a comprehensive solution to the industry and community that works in the Different fields of application of unmanned aerial vehicles, which have turned the development of this technology into a working tool; Which generates not only contractual and civil liability but also legal. The foregoing responds to the projection of how this technology converges in the aeronautical sector, given its capacity to move in airspace, which requires redundant levels of security, aerodynamically ideal performance, avionics systems that contribute To navigation and control, always paying attention that its implementation at the industrial level is increasing and can mean that its overcrowding ends up not taking into account what aviation has perpetuated in its diligent work of standardizing and regulating the Air space.

Keywords:

- UAV
- Parachute
- Altimeter
- Arduino
- BMP180

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el sector aeronáutico y aeroespacial representa un papel muy importante en la economía y en el desarrollo tecnológico, “Hoy la aviación es un sector en crecimiento que en 2015 generó 63 millones de empleos y se espera que para 2032 sean más de 100 millones; de este tamaño es el impacto y el potencial de la industria que conquistó el cielo a favor de la economía mundial.”¹, el sector aeronáutico es pionero en estándares de calidad y riguroso en su reglamentación², por tanto, la academia propende un papel protagónico al formar profesionales idóneos que estén a la altura de un reto de esta magnitud, quienes comprendan la responsabilidad que se adquiere al ejercer esta profesión. Por ello como representantes de la institución en el campo laboral, debemos apropiarnos la oportunidad de enriquecer nuestra formación con lo que pueden aportarnos las personas y la dinámica de trabajo que se desarrolla en una compañía y apoyados en nuestra formación profesional conseguir avances que nutran el sano crecimiento de la industria, atentos siempre a la dinámica económica y tecnológica que se posiciona en el mundo.

Por lo anterior es de vital importancia comprender la evolución del sector aeronáutico y su proyección, que muestra el potencial de adaptarse y acoplarse a el súbito crecimiento de la electrónica y la computación, ya que sin lugar a dudas la integración de los conocimientos aeronáuticos en la tecnología de los vehículos aéreos no tripulados optimiza y promueve su implementación en otros sectores económicos que se ven beneficiados con la tecnificación de actividades anteriormente más complejas, arriesgadas o incluso costosas, cómo es el caso de la agricultura de precisión, la vigilancia y la topografía tridimensional, por nombrar algunas.

Aplicando los conceptos de navegación, aerodinámica, procesos de manufactura, diseño mecánico, integración electrónica y la correspondiente vinculación con *software* de código abierto para la programación, se desarrolla un dispositivo que complementa y potencia los sistemas de recuperación de los equipos que se comercializan en la compañía Designing Innovation, abriendo la posibilidad de modificar y adaptar el modelo existente en su morfología, funcionamiento, configuración y mecanismos de accionamiento. Estos sistemas de recuperación actualmente son accionados desde el control remoto y en línea de vista del piloto,

¹Esparza, Gerardo Ruiz, El sector aeronáutico en pleno desarrollo, Diario El Financiero, México, [en línea] (2017) <<http://www.elfinanciero.com.mx/opinion/el-sector-aeronautico-en-pleno-desarrollo.html>> [citado el 12 de diciembre de 2017]

² Captain, Tom & Hussain, Aijaz, 2017 *Global aerospace and defense sector outlook Growth prospects remain upbeat*, Deloitte, [en línea] (2017) <<file:///H:/FULL/REF/2017-global-ad-outlook-january.pdf>> [citado el 12 de diciembre de 2017]



están dotados de un contenedor que alberga un paracaídas que es expulsado por diferentes mecanismos acumuladores de energía potencial.

Se han categorizado tres momentos críticos en la operación de los UAV, los cuales son el despegue, la misión a realizar y el aterrizaje, de los cuales los dos primeros se han logrado hacer de forma autónoma, pero el que puede representar más dificultad sobre todo para los UAV de ala fija, se realiza de forma manual. Por ello la importancia de eliminar esta limitación y optimizar la funcionalidad de estos equipos.

Como entrada y haciendo referencia a los objetivos, se resalta que, desde la sinergia de la academia y el sector privado, es posible conseguir soluciones como las planteadas aquí, permitiendo vencer retos en conjunto.

OBJETIVOS

Objetivo general:

- Diseñar y desarrollar un dispositivo que despliegue de forma autónoma el paracaídas de un vehículo aéreo no tripulado.

Objetivos específicos:

- Analizar los potenciales fallos que puedan afectar la seguridad en vuelo de un UAV para determinar los parámetros de diseño conceptual del dispositivo.
- Diseñar los protocolos de conexión y comunicación entre el paracaídas, el dispositivo y el autopiloto.
- Construir un prototipo funcional, para realizar la comprobación del dispositivo.
- Validar el dispositivo desarrollado, realizando pruebas y análisis de resultados.

1. ASPECTOS CIENTIFICOS

1.1 CAUSAS POR LAS QUE SE REALIZA EL PROYECTO

En el campo de la aviación no tripulada, se han desarrollado gran variedad de sistemas y aeronaves dotadas con todo tipo de electrónica, equipo audiovisual, herramientas funcionales entre otros dispositivos por mencionar algunos de los *Gadgets* que se emplean para brindar algún beneficio o utilidad en los diferentes sectores industriales o ya sea que se usen para entretenimiento únicamente, con lo que se ha conseguido que equipos cada vez más robustos y/o costosos vuelen sobre nuestras cabezas y nuestras pertenencias, lo que ha abierto infinidad de discusiones sobre el peligro que representan los RPAS no bélicos, para nuestra integridad física o contra nuestros bienes materiales teniendo en cuenta que su peso, altura en la que operan y la alta velocidad con la que podrían descender en el momento de una falla, fácilmente podría ocasionar graves pérdidas materiales en el mejor de los casos o una grave agresión contra un transeúnte ocasionando incluso la pérdida de vidas.

La reglamentación alrededor de los vehículos aéreos no tripulados busca proteger además de la intimidad, la integridad física de quienes pueden verse afectados, cuidando claramente con no crear una pared que atente con la obstrucción del desarrollo de esta tecnología, sin embargo hacen falta que se integren otros desarrollos que puedan garantizar su operación sobre zonas pobladas, para que la reglamentación pueda exigir el uso de estos dispositivos de seguridad y ampliar el espectro de operación y por tanto garantizar el crecimiento de aplicaciones que puedan suministrar ayuda a la población civil, como es el caso del uso de drones para salvamento o para entregas y envíos.

1.2 ANTECEDENTES Y REVISIÓN DEL CONOCIMIENTO DISPONIBLE

En el mercado se pueden encontrar sistemas de paracaídas o de recuperación para UAVS de ala rotatoria los cuales son accionados de forma manual, son sistemas bien concebidos estéticamente y funcionalmente aunque carezcan de autonomía cumplen con el propósito de ayudar a realizar descensos suaves, sin embargo se debe prestar atención al peso que adicionan dichos sistemas, minimizando la capacidad de carga útil de sus portadores, por otro lado cambian el balance o modifican el centro de gravedad con el que la computadora de vuelo del UAV realiza sus cálculos de estabilización.

Para el caso de las aeronaves de ala fija son muy pocos los que incorporan paracaídas, la gran mayoría realizan su aterrizaje sobre pistas más o menos preparadas con ayuda de un tren de aterrizaje o deslizando la barriga de la aeronave en el suelo, también existen las que aterrizan con ayuda de una red de tamaño considerable la cual cumple la función de amortiguar la caída del UAV. Para estos sistemas se requiere de bastante pericia del piloto y que los componentes y

estructura de la aeronave sean muy resistentes, fáciles de reparar o remplazar, claramente los ciclos de vida útil se ven afectados de sobremanera al igual que los costos de mantenimiento.

Las diferentes comunidades de drones mantienen constante aprendizaje y comunicación, por medio de foros y reuniones, donde se nota una clara preocupación por proteger la inversión que hacen al adquirir sus equipos y el trabajo que realizan con ellos, pues se han visto avances en la evasión de obstáculos y en el reconocimiento de entornos gracias al ultrasonido o a la emisión laser, también se encuentran avances en el campo de la parametrización de modos de vuelo y en la caracterización de protocolos de comunicación entre otros drones y el tránsito aéreo convencional, lo que pretende mejorar la navegación aérea de manera responsable, incluso se señala que pronto se hará obligatorio la utilización de transpondedor y TCAS, esto para evitar posibles perturbaciones a la seguridad de aeronaves tripuladas.

En el ámbito militar se encuentra que el crecimiento ha sido abismal y precipitado, pues han encontrado en estos equipos una infinidad de servicios ya sea para realizar inteligencia, vigilancia o ataques letales, como ejemplo de esto se puede tener en cuenta el “incremento por parte de la Fuerza Aérea norteamericana, en un 650% durante los últimos seis años, de la demanda de misiones a realizar con UAV”³.

1.3 JUSTIFICACIÓN.

Este proyecto surgió debido a que en distintas misiones y vuelos de prueba de las aeronaves de la compañía, se estableció que la mayor cantidad de accidentes ocurridos ha sido en el momento del aterrizaje, pues aunque se cuenta con sistema de paracaídas, no siempre ha podido ser desplegado ocasionando grandes pérdidas económicas en componentes electrónicos, sensores, cámaras y en reparaciones estructurales, afortunadamente no se ha incurrido en el error de afectar la integridad de personas o la propiedad privada. Por lo anterior se determina la importancia de realizar este desarrollo y su implementación en cada uno de los equipos que comercializa la compañía.

Esta investigación se justifica en los siguientes aspectos:

- Tecnológico: de modo que representa un avance en el campo de la aviación no tripulada.
- Económico: permitiendo que quien invierta en esta tecnología pueda mantener mayor grado de confianza al momento de comprometerse con un trabajo,

³ Merino, Félix Fernández. Los sistemas no tripulados. En: Catálogo general de publicaciones oficiales. Marzo, 2012 p.7

además que diversifica la economía colombiana, al mostrar que el país también tiene potencial en el sector de la tecnología.

- Social: toda vez que la implementación de este dispositivo podría salvar de un grave accidente a personas y animales. Por otro lado, brinda alternativas que posibiliten la inclusión de los UAV en zonas urbanas, desempeñando tareas de atención médica, control del tráfico, entre otros.

1.4 LIMITACIONES

Este proyecto se limita a implementar una solución que integre la electrónica y la programación necesaria para garantizar el despliegue autónomo del sistema de recuperación instalado en los UAV que provee la empresa en los diferentes usos industriales, mas no se pretende en esta primera fase un despliegue limpio del paracaídas, puesto que no se contempla tener control completo de la aeronave ni reemplazar la computadora de vuelo principal, ya que la unidad de procesamiento necesitaría debería ser más robusta y costosa.

Los periféricos, sistemas y subsistemas que rodean a este dispositivo no son objeto de este proyecto, por lo que se hace mención de los mismos de forma superficial y no se detallan cálculos ni características diferentes a las que estrictamente tienen que ver con el cumplimiento del objetivo general de este proyecto. Políticas de la empresa no permiten revelar algunos detalles de propiedad intelectual.

2. METODOLOGÍA GENERAL

El desarrollo de este documento se basa en el planteamiento que explica la metodología de la investigación de Hernández, Fernández y Baptista⁴, en donde se establece los diferentes tipos de investigación y describe las metodologías empleadas en la investigación. Este trabajo se enmarca en la metodología mixta⁵ ya que es cuantitativa en la recolección de datos estadísticos de lo que operadores y pilotos de UAV viven al momento de operar estos sistemas, tratando de lograr la máxima objetividad, para así identificar los problemas que deben ser solucionados en este proyecto, y a su vez es cualitativa, debido a que se interpreta experiencias y resultados obtenidos en la compañía de manera particular.

Por otro lado, se establece que los estudios realizados en este proyecto son explicativos, ya que se pregunta por las causas por las que puede fallar un UAV y descriptivos, al mostrar lo observado en las pruebas realizadas. Estos tipos de estudios tienen que ver con la naturaleza de la investigación aplicada, experimental y predictiva, que se emplean a lo largo del proceso de desarrollo del dispositivo, el cual tiene como objetivo resolver un problema de forma práctica, por medio de un diseño experimental para finalmente por análisis causal predecir fenómenos consecuencia de las pruebas realizadas.

2.1 ESTRUCTURA DE CADA CAPITULO

Inicialmente se estudió la normatividad que trata el campo de los vehículos aéreos no tripulados a nivel mundial, específicamente en lo que concierne a la navegación, sus restricciones y exigencias, ya que muchos de los sistemas de la compañía son comercializados a nivel mundial, esto con el fin de definir con claridad los niveles de seguridad que se deben tener en cuenta y la aplicabilidad del proyecto para contribuir con la reglamentación vigente.

Acto seguido se levanta una estadística de las causas de accidentalidad en UAV's y categorizar los posibles fallos o perturbaciones en la operación que se puedan presentar, para de este modo seleccionar las que podrían ser solucionadas con el desarrollo propuesto en este documento.

Con esta información como base se determina lo robusto que debe ser el dispositivo y su capacidad de procesamiento, con lo que se diseña el algoritmo, se escribe el código de programación y se realiza una debida selección de componentes que lo integran, lo que ayuda a tener dimensiones y volúmenes cercanos con lo que se

⁴ Hernández Roberto, Fernández Carlos y Baptista Pilar, Metodologías de la investigación, México: McGraw-Hill, 2003.

⁵ Ibíd., p. 544 – 563.

pueda trabajar en su distribución y acople al resto del sistema compuesto por contenedor del paracaídas y mecanismo de accionamiento con servomotor. Se emplea un *Arduino* uno para las pruebas iniciales.

De este modo se pudo proceder con la definición del diseño, dimensionamiento e integración de los mecanismos y tarjeta electrónica, la cual incluirá el desarrollo de un PCB que contenga los componentes electrónicos y su batería de soporte, además de los cálculos del paracaídas apropiado para la aeronave, con lo que se revisará el tamaño y morfología del contenedor, su mecanismo de accionamiento y su dispositivo de seguridad en pre vuelo.

Así se pudo Establecer los protocolos de conexión y comunicación entre el paracaídas el dispositivo y el *PixHawk*, para luego establecer el algoritmo representado en diagramas de bloque para la programación del dispositivo y su vinculación con los sistemas del resto de la aeronave a los que pueda afectar.

Finalmente se procedió con la construcción, conexión, programación y puesta en marcha del sistema, teniendo en cuenta que el peso es un elemento crítico en el montaje, junto con la alteración del balance del UAV.

Finalmente se estudió las pruebas realizadas y se presenta un análisis de resultados para corregir y ajustar parámetros de la programación o la configuración del sistema, con lo que podamos estudiar lo presentado en las conclusiones.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 EVOLUCION UAV'S

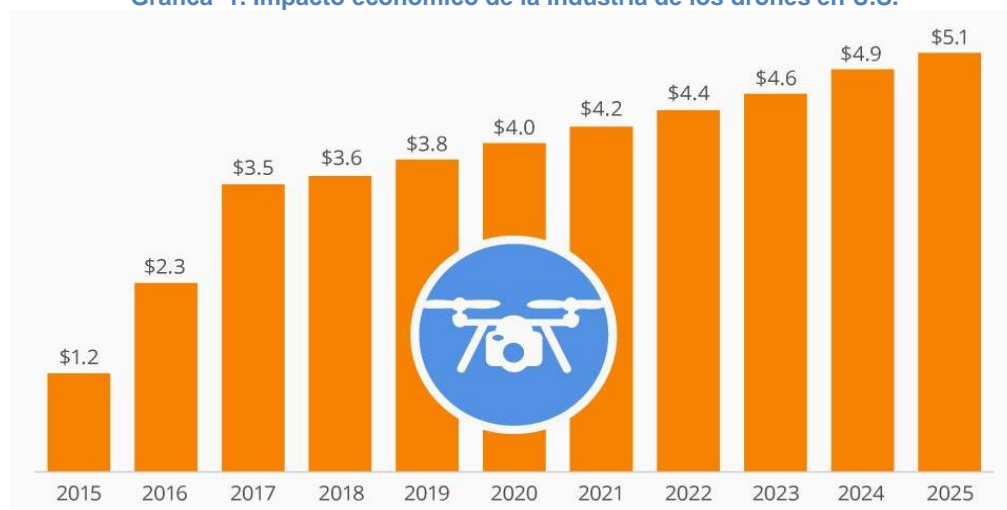
La aviación no tripulada tuvo sus comienzos en los modelos construidos y volados por inventores como *Cayley*, *Stringfellow*, *Du Temple* y otros pioneros de la aviación, que fueron previos a sus propios intentos de desarrollar aeronaves tripuladas a lo largo de la primera mitad del siglo XIX⁶. En esencia el vehículo aéreo no tripulado se refiere a un sistemas o equipos que pueden ser controlados a distancia o programados de forma automática, con una función específica, cuando en ningún caso lleva personas a bordo.

Existen drones con múltiples formas, tamaños, configuraciones y características. Originalmente, los UAV eran simplemente aviones tradicionales en los que reemplazaba al equipo humano por una serie de ordenadores conectados a varios actuadores y sensores que realizaban las tareas de los pilotos por control remoto. Con el tiempo, esos sistemas se han ido mejorando progresivamente buscando dar a este tipo de aeronaves más autonomía, hasta llegar así a lo que actualmente se entiende como, UAV o VANT.

Las ganancias económicas con los aviones no tripulados comerciales entre el 2015 y el 2017 han tenido un crecimiento de 2.3 billones de dólares según estadísticas como las publicadas en la revista Forbes, ver Grafica 1 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, donde se observa una abrumadora proyección que además permite obtener una visión de lo que significa su acelerada evolución en los últimos años con el bum de la electrónica y la computación, las industrias que más destacan son las de fotografía, bienes raíces y energía se cuentan entre los entusiastas usuarios empresariales que adoptan la tecnología UAV (vehículo aéreo no tripulado). Sin embargo, los reguladores estadounidenses han tenido problemas para mantenerse al día con el crecimiento implacable del mercado de drones recreativos.

⁶ Rejado Cuerno, Cristina. Origen y desarrollo de los drones. Universidad Politécnica de Madrid. [en línea]. Julio 2015. [Citado junio 24, 2017], Disponible en Internet: <http://drones.uv.es/origen-y-desarrollo-de-los-drones/>

Grafica 1. Impacto económico de la industria de los drones en U.S.



Fuente. Revista *Forbes Online*

Cientos de miles de drones más pequeños, baratos y fáciles de volar, se han vendido en los EE. UU. Cuando se usan imprudentemente, suponen una grave amenaza para el tráfico aéreo y la gente debajo de ellos. A pesar de esto, se espera que el sector de drones comerciales de los EE. UU. Genere \$ 2.3 mil millones en inversiones el próximo año. Para el año 2025, su impacto económico se establecerá en casi el doble, y se pronostica que superará los \$ 5 mil millones⁷.

Como resultado del desarrollo de nuevos sistemas que permiten a estas naves volar de forma autónoma, progresivamente se fabrican multitud de modelos diseñados desde el principio con la idea de no ser pilotados por personas y se pueden comprar ensamblados o por partes lo que permite que cada persona lo adapte a sus necesidades, esto ha fomentado la producción de estructuras donde cada quien pueda ubicar los componentes necesarios para poder volar sus aparatos, como es el caso del *airframe* de este tipo, más vendido a nivel mundial, el *Skywalker X8*.

3.2 SKYWALKER X8

Es el nombre que la compañía SKYWALKER de origen chino le da a su *airframe* de material liviano, impermeable y resistente, en configuración de ala fija, ver ilustración 1, la cual entrega grandes prestaciones aerodinámicas favoreciendo con su capacidad de sustentación albergar cargas útiles de hasta de 4.5 Kilogramos, además de ofrecer beneficios cuando lo que se busca es gran autonomía, diseñado para poder incorporar electrónica al gusto, empleando tanto sistema y sensor exista para la modalidad de alas fijas. Con este *airframe* se integran gran parte de los

⁷ McCarthy, Niall. The Commercial Drone Sector Is Set To Contribute Billions To The U.S. Economy [Infographic]. Universidad Politécnica de Madrid. [en línea]. Octubre 2015. [Citado Agosto 15, 2017], Disponible en Internet: <http://drones.uv.es/origen-y-desarrollo-de-los-drones/>

desarrollos de la compañía *Designinig Innovation S.A.S.* y es sobre el que se hace el montaje de las pruebas de este desarrollo.

Ilustración 1. Air *Frame skywalker X8*



Fuente. *skywalker*

- Envergadura: 2120 mm.
- Longitud: 780 mm.
- Máximo peso en vuelo: 4500 g.

La tendencia en cualquier mercado es bajar costos y desarrollar productos que generen valor al usuario final.

Designinig Innovation es una compañía de desarrollo de producto y de implementación tecnológica que ha visto en la innovación abierta la manera de generar mayor valor agregado a sus clientes. Es por esta razón que usa el *frame* del avión *Skywalker X8* pero llevándolo a un nivel de ingeniería que lo aleja de su aeronave original. Este modelo tiene una excelente eficiencia aerodinámica, bajo peso, gran estabilidad y muy bajo costo, haciéndolo una plataforma perfecta para diferentes operaciones, sin temor a que un golpe o daño menor termine en una reexportación para un mantenimiento costoso y un tiempo muerto de operación de hasta meses como ocurre en muchos casos⁸.

3.3 SISTEMAS DE RECUPERACIÓN

En la industria se pueden encontrar distintos métodos o sistemas de recuperación, desarrollados para diferentes tipos de UAV, algunos similares a los desarrollados por *Designinig Innovation*, los cuales se encuentran integrados en la estructura del

⁸ Giraldo, Felipe. Di Parachutes. *Designinig innovation*. [en línea]. Noviembre 2016. [Citado mayo, 11, 2017], de *Designinig innovation*: <https://www.diinnovation.com/skydidron>

vehículo, como es el caso de los paracaídas y otros muy distintos que son externos, como las redes de hilo, el desarrollo de este proyecto se enfoca en los primeros, ya que es sobre los que se puede controlar su accionamiento desde el aire y en lugares no preparados, los paracaídas pueden ser accionados si se presenta alguna emergencia en una misión o si se encuentra a una distancia considerable de la estación terrena.

3.3.1 MARTS PARACHUTES

Es una compañía estadounidense que desarrolla paracaídas de drones para la seguridad y mayor tranquilidad de los pilotos que incorporan estos sistemas en sus UAV. “MARS Paracaídas proporcionan los sistemas que protegen su avión y todo el mundo debajo de él”⁹. MARS comercializa sistemas que protegen a las personas y sus equipos de vuelo no tripulados, a la vez que aterriza su UAV con poco o ningún daño, son fáciles de usar y fáciles de armar.

Los accidentes, daños y responsabilidad son sólo algunos riesgos de los aviones no tripulados a los que se enfrentan los pilotos. Con las leyes y regulaciones cambiantes de un fallo en vuelo puede destruir mucho más que el UAV. Estos sistemas están compuestos por un contenedor que alberga una tela de paracaídas de un tamaño proporcional para cada UAV; este conjunto es accionado por medio de un servo motor que va conectado al radio control o a la controladora de vuelo, por lo que son accionados manualmente desde el control Remoto o desde la estación terrena. Su costo oscila entre los cuatrocientos y los mil quinientos dólares, dependiendo el tamaño y del equipamiento adicional, ya que sus sistemas ahora los comercializan acompañados por un dispositivo de expulsión de emergencia llamado MAYDAY.

3.3.2 MAYDAY

Es un dispositivo para drones multi-rotor, ver ilustración 2, que se compagina con los paracaídas de Mars exclusivamente, para realizar el despliegue autónomo del paracaídas en el momento de una anomalía, tiene un diseño simple y compacto, ensambla sensores que le permiten tomar decisiones sobre el estado del UAV, sus dimensiones exteriores son una pulgada y media de ancho y de largo y tiene un espesor, maneja voltajes entre tres y doce enteros, seis centésimos de voltios, y pesa catorce gramos. A pesar de su funcionalidad no tiene la posibilidad de conectarse al piloto automático del UAV, por lo que no recoge ni entrega información con la que pueda comparar los datos tomados, lo que lo hace demasiado independiente e inconveniente para los pilotos que en ocasiones deben maniobrar para conseguir una toma de imágenes buena o para las controladoras de vuelo que en determinados momentos pueden retomar el control para continuar con el vuelo.

⁹ *Mars paracaídas*. [en línea]. Febrero 2017. [Citado Mayo 27, 2017], Disponible en Internet: <https://www.marsparachutes.com/>

Ilustración 2. Montaje de MAYDAY en Multirrotor



Fuente. marsparachutes

Este sistema al estar diseñado para multi-rotor no podría usarse en los UAV ala fija de la compañía, puesto que sus condiciones de accionamiento están programadas para un modo de vuelo totalmente diferente de vuelo, por esta razón y para hacer de los productos de la empresa más competitivos, se plantea la idea de realizar el desarrollo del *Shooting Guard (SHGR)*.

3.3.3 SKYHOOK

El *ScanEagle* es recuperado usando el sistema de recuperación "*Skyhook*", que es un sistema de recuperación externo el cual usa un gancho en la punta alar para atrapar una cuerda que cuelga de un mástil de 9,1 a 15,2 m. Esto es posible gracias a unidades GPS diferenciales de alta calidad montadas en el tope del mástil y en el UAV. La cuerda está unida a un cable elástico para reducir la tensión en la célula producido por la brusca detención. *NavtechGPS* trabajó con el fabricante del sistema de recepción GPS para posibilitar que el sistema trabaje en diferentes ambientes, expandiendo las posibilidades del UAS de realizar diferentes tipos de misiones y partes del mundo¹⁰. Este sistema se instala en un punto preparado, cerca en la mayoría de los casos a la estación terrena, está concebido para aterrizajes planeados y no de emergencia, si la aeronave presenta alguna dificultad mientras se encuentra realizando su misión, se presenta dificultad al intentar preparar el *Skyhook* en una zona distinta de la inicial, para intentar salvar el *ScanEagle*, esto ocasiona pérdidas económicas considerables.

¹⁰ Scan Eagle and Integrator UAVs, navigation and capture . NavTechGPS. [en línea]. Noviembre 2015. [Citado Septiembre, 21, 2017]. Disponible en internet: https://www.navtechgps.com/project_descriptions/#ScanEagle

3.3.4 AIRBAGS

Los sistemas de bolsas de aire, ver ilustración 3, se utilizan para la atenuación o amortiguación de impactos de la aeronave al acercarse a tierra. Como sistemas de aterrizaje, es utilizado en helicópteros, vehículos aéreos no tripulados (UAV), sistemas de entrega de carga aérea e incluso en la cápsula de escape de la tripulación F-111¹¹. Para aplicaciones espaciales, los sistemas de bolsas de aire se han desarrollado y utilizado en una variedad de situaciones terrestres y extraterrestres, pero lo más famoso es amortiguar el impacto del aterrizaje en las misiones *Pathfinder* y *MER* a Marte.

Ilustración 3. Airbag en UAV



Fuente. xAzraelx

Vorticity ha desarrollado una experiencia considerable en el desarrollo de sistemas de airbag sin ventilación y ventilación en varios proyectos. Esta experiencia incluye análisis funcional y modelado de inflación e impacto usando LS-DYNA, modelado Monte Carlo de aterrizaje en terrenos planetarios simulados, diseño detallado de la envoltura de la bolsa de aire, análisis y especificación de sistemas de inflado y dispositivos de retracción / liberación y prueba en la atmósfera atmosférica y baja presión. Este equipo ha llevado a cabo pruebas exitosas en las instalaciones de baja densidad de la NASA en *Plum Brook* y *Johnson Space Center*.

3.3.5 DI PARACHUTES

Diseñado y optimizado para un aterrizaje controlado y programado de manera segura para el UAV que lo implemente. Su estructura en fibra de carbono lo hace un sistema liviano. Su diseño va directamente anclado al sistema de sujeción estructural para aeronaves de ala fija. Incorpora también un sistema de sujeción que soporta el paracaídas al *Skywalker X8*, ver ilustración 4, permitiéndole hacer aterrizajes seguros a velocidades de descenso entre 3,5 y 2,5 m/s además su

¹¹ xAzraelx. FUERZAS ARMADAS Y DE ORDEN · Ejército de Chile. [en línea]. Mayo 2015. [Citado Septiembre, 21, 2017]. Disponible en internet: <http://razonyfuerza.mforos.com/549910/11554914-noticias-del-ejercito-viii/?pag=31>

diseño lo soporta directamente en el centro de gravedad haciendo de este sistema de paracaídas el producto ideal para proteger sus equipos de inversión. El ensamble y montaje es simple. El producto se entrega junto con el paracaídas el instructivo para la instalación y el correcto soporte del mismo. *Designing Innovation* es una compañía del sector aeroespacial por lo cual diseña sus productos bajo estándares y con materiales de aviación. El paracaídas es un producto desarrollado en materiales compuestos de alta resistencia lo cual garantiza su durabilidad.¹²

Ilustración 4. DI parachute instalado en *Skaywalker X8*



Fuente. *diinnovation*

¹² Giraldo, Felipe. Di Parachutes. Designing innovation. [en línea]. Noviembre 2016. [Citado septiembre, 21, 2017], de Designing innovation: <https://www.diinnovation.com/skydidron>

4. REGLAMENTACIÓN RELACIONADA CON LOS SISTEMAS DE RECUPERACIÓN EN LOS UAV

En este apartado del documento se hace un análisis de las reglamentaciones vigentes en relación con los UAV's, concretamente sobre la exigencia o no de contar con sistema de recuperación segura o paracaídas, en los equipos que las diferentes autoridades consideran seguros para volar de forma no tripulada.

4.1 REGULACIÓN EN COLOMBIA

En septiembre de 2016 se expide por parte de la Aeronáutica civil de Colombia, la Circular 002 de 2015 (regulación drones en Colombia), normativa que regula el uso de drones o vehículos aéreos no tripulados en Colombia. En dicha circular se puede leer todo lo referente a los requisitos con los que debe contar un operador de UAV para hacerlo de forma legal, entre lo que se encuentra especificaciones técnicas, documentación y conocimientos certificados con los que se debe contar. De forma específica no tratan que dentro de las especificaciones técnicas del UAV, este deba contar con paracaídas obligatoriamente; sin embargo se pueden encontrar en las academias donde se imparte el curso de piloto de UAV recomiendan contar sistemas de seguridad en los equipos para evitar incidentes por ejemplo: paracaídas, sistema de retorno a casa (en caso de pérdida de señal) u otros sistemas que permitan prever accidentes.¹³

Por otro lado, en foros y columnas se habla sobre las condiciones adecuadas de aeronavegabilidad¹⁴, haciendo referencia a los Sistema de lanzamiento y recuperación en condiciones normales de operación (ej. tren de aterrizaje, airbag, paracaídas, red, etc.). Lo anterior derivado de del nivel de conciencia alcanzado con la experiencia de vuelo, dejando ver el nivel de profesionalismo que se quiere alcanzar en el país, pues, aunque muchos operadores consideran algunos requisitos en la circular como innecesarios, por otro lado, toman precaución de algunas otras consideraciones que la norma no menciona.

4.2 REGULACIÓN EN NORTE AMÉRICA

La Administración de Aviación Federal (FAA) emite en 2015 la circular informativa AC107-2, en la que establece las diferentes consideraciones sobre el uso del espacio aéreo para el caso de los UAV o *drones*, las condiciones de uso, limitación en sus especificaciones técnicas, sanciones, requerimientos de conocimiento para su manipulación u operación y hace referencia a las diferentes leyes públicas que

¹³. Conde. Daniel. Cómo volar legalmente drones en Colombia? [en línea]. Julio 2017. [Citado, Octubre, 21, 2017]. Disponible en internet: «<http://www.apd.org/2017/07/03/como-volar-legalmente-drones-en-colombia/>? »

¹⁴ [en línea]. Julio 2017. [Citado, Octubre, 3, 2017]. Disponible en internet: «<http://germannube.com/regulacion-drones-colombia/> »

respaldan estas recomendaciones. Dentro de la documentación exigida por el ente, para el registro del equipo UAV¹⁵, se encuentra una hoja de datos en la que se pregunta por los componentes del mismo, en la parte de seguridad se refieren al uso de paracaídas o sistema de recuperación segura, aludiendo a una corta descripción de funcionamiento; que el equipo cuente con este sistema garantiza que sea clasificado como equipo profesional o industrial. Para el caso de los UAV aeroespaciales se hace obligatorio su uso.

Diferentes estudios relacionados a la accidentalidad de los UAV¹⁶, mencionan causas asociadas al factor humano, por lo que centran el papel del operador en su responsabilidad al realizar mantenimientos periódicos a su aeronave no tripulada y mencionan que debe ser una preocupación primordial la de incluir sistemas que puedan actuar en la ausencia de pericia al atender una emergencia, por lo que rescatan el papel del paracaídas y los sistemas de emergencia, que deberían tener todos los sistemas UAV.

Las reglas en las Regulaciones de Aviación Canadienses sección 602.41 - Vehículos aéreos no tripulados¹⁷ en la cual se referencia la SOR / 96-433, que describe lo relativo a los requerimientos para poder volar un UAV en espacio aéreo canadiense, a modo general trata las especificaciones técnicas con las que se debe contar, sin nombrar el uso de paracaídas más que como accesorio balístico para la recuperación de alas delta, aeromodelos de mediana envergadura, y cohetes experimentales de menos de 10Kg, por otro lado adhiere varias de sus consideraciones a el cumplimiento del reglamento aeronáutico y nombra que los únicos operadores deben tener registro canadiense o contar con el permiso para hacerlo, teniendo en cuenta que la regulación del país de origen tenga convenio con Canadá, siempre y cuando también apruebe el examen de conocimiento sobre la operación de los drones, que incluye tener conocimiento pleno de la norma canadiense, sus restricciones y áreas designadas para poder volar estos equipos.

4.3 REGULACIONES EN LATINOAMÉRICA

Argentina estableció dos regulaciones en 2015 para tratar de controlar el uso de los drones en el espacio aéreo y la posible ventaja que se pueda sacar de ellos, en especial en materia de video y fotografías.

La primera del 20 de mayo del 2015 y es la Disposición 20/2015 de la Dirección Nacional de Protección de Datos Personales (DNPDP) y aprueba "las condiciones de licitud para la recolección de datos a través de VANT (Vehículos aéreos no

¹⁵ FAA. getting_started. [en línea]. agosto 2015. [Citado, Septiembre, 15, 2017]. Disponible en internet: https://www.faa.gov/uas/getting_started/.

¹⁶ Ph.D., Stanley R. Herwitz, Ph.D. [en línea]. Julio 2017. [Citado, Octubre, 1, 2017]. Disponible en internet: Human Factors in the Maintenance of Unmanned Aircraft Alan Hobbs,.

¹⁷ Realpe Delgado. Germán. Un año de la regulación de drones en Colombia y de crecimiento a nivel mundial. [en línea]. Enero 2017. [Citado, Octubre, 21, 2017]. Disponible en internet: <http://laws-lois.justice.gc.ca/eng/regulations/SOR-96-433/FullText.html#h-789>

tripulados)" y "las recomendaciones relativas a la privacidad en el uso de VANT ¹⁸". Es decir, regula todo lo referido al derecho de privacidad de los individuos y los límites en los propósitos de los usos de los drones. Por el otro lado, existe la llamada Resolución 527/2015 instaurada por la Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC), del 10 de julio de 2015. En ella se aprueba el "Reglamento provisional de VANT", que reglamenta justamente todo lo referido a seguridad aérea, permisos y registros de los vehículos; convirtiéndose en la única regulación de Latinoamérica que obliga a la utilización de un sistema de recuperación, incluso sobre Brasil que en Latinoamérica es un referente de la aviación.

En un principio, la ANAC separó los dispositivos en tres categorías: pequeños (de hasta 10kg. de peso vacío), medianos (entre 10 y 150 kg.) y grandes (más de 150 kg.) A excepciones de los drones pequeños y de uso recreativo, los vehículos más grandes tienen que estar autorizados por la ANAC para poder volar en suelo argentino; estos drones que requieren autorización se les exige reportar como será tanto su despegue como su aterrizaje, en el documento que se describe y justifica su aplicación, además, ningún UAV podrá volar por encima de los 122 metros sobre el nivel de la superficie. De este modo Latinoamérica pretende mitigar tanto la afectación por violación de la privacidad como los daños causados a terceros por accidentes.

Para México la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) de la SCT emitió la circular CO AV-23/10 R2¹⁹, la cual menciona las condiciones que los operadores deberán acatar para manipular aeronaves no tripuladas o drones. Lo anterior tiene como objetivo afianzar la regulación del uso de los Sistemas de Aeronave Pilotada a Distancia, de forma segura, armonizada y fluida. El documento contiene las limitaciones, leyes, reglamentos, normas federales y locales, que deben seguir los operadores en tierra, sean personas físicas o morales, y disponer de una normatividad comparable a la de las operaciones de aeronaves tripuladas. En el apéndice B de este documento se hace referencia a el aseguramiento de aeronavegabilidad para la aeronave, en donde se pide especificar si la aeronave cuenta con paracaídas, no como condición absoluta, más como un valor agregado, dentro de las características estructurales del UAV.

4.4 REGULACIÓN EN ASIA

En India se ha publicado un borrador con una serie de normas que suponen la conformación de un marco legal para los drones. Hasta ahora, el uso de estos

¹⁸ Ministerio de justicia y derechos humanos. Condiciones de licitud para la recolección de datos personales a través de vants o drones. [en línea]. Mayo 2015. [Citado, Septiembre, 17, 2017]. Disponible en internet: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/verNorma.do?id=247311>

¹⁹ Canadian Aviation Regulations. [en línea]. Noviembre 2016. [Citado, Septiembre, 16, 2017]. Disponible en internet: <http://www.sct.gob.mx/despliega-noticias/article/regula-la-sct-el-uso-de-aeronaves-no-tripuladas-drones/>

dispositivos había sido ilegal. La agencia reguladora del espacio aéreo hindú, el *Directorate General of Civil Aviation* (DGCA)²⁰, ha clasificado a los drones en cuatro categorías dependiendo de su peso; se destaca que en la primera categoría en la que están los que pesan menos de 250 gramos y vuelan a una altura máxima de 15 metros solo se tiene que registrar el UAV para poder volarlo, pero si la aeronave pesa más de 2 Kg, el operador necesitará un permiso de seguridad especial cada vez que quiera volar. En ninguna de estas categorías se habla sobre el uso de paracaídas.

El gobierno de China implemento a partir del 1º de julio la regulación que permitirá controlar el uso de drones por parte de pilotos aficionados, obligándolos a registrar cada dispositivo ante la Administración de Aviación Civil de China (CAAC), pero no se exige licencia de pilotaje u operador, la normativa es por mucho menos restrictiva que en otros países, solo exige el registro de la aeronave y no pide mayor especificación técnica, lo que también ha permitido su proliferación en el país, convirtiéndolo en el mayor productor y comercializador de estos equipos en el mundo. Por parte de la seguridad no es muy restrictivo y por lo tanto no se exige ningún sistema o dispositivo de protección para poder volar los equipos. Incluso en agosto de este año inauguraron²¹ la primera base aérea para drones, con el fin de incentivar, acompañar y además controlar la operación de los drones.

4.5 REGLAMENTO EN EUROPA

A fin de crecer en concordancia con otros países de la Unión Europea, España se ha inspirado en las normativas que aplican países como Francia y Reino Unido. Teniendo en cuenta que es un sector en crecimiento, los esfuerzos se centran en superar las limitaciones de esta tecnología. La Unión Europea pretende aplicar unas directrices comunes a todos los países que, a su vez, deben adaptarse a las normas concretas para cada país²². En general los diferentes reglamentos exigen que se haga un registro oficial del UAV y en muchos casos que se adquiera un seguro que cubra el equipo y daños a terceros.

En cuanto a la seguridad en países como Francia o Italia dentro de las características de registro para drones medianos y de gran tamaño se restringe su uso sin fines industriales y deben contar con aviónica y sistemas robustos que garanticen el buen funcionamiento, incluso se sugiere el uso de sistemas de recuperación segura; por otro lado como es el caso de España vinculan el sector industrial y en acuerdo con empresarios y fabricantes firman acuerdos de

²⁰ State Safety Programme - INDIA. [en línea]. Mayo 2017. [Citado, Septiembre, 18, 2017]. Disponible en internet: <http://www.dgca.nic.in/>

²¹ Xinhua. Fang Zhe. Shanghai establece primera base de vuelo de drones de China. [en línea]. Mayo 2015. [Citado, Septiembre, 18, 2017]. Disponible en internet: http://spanish.xinhuanet.com/2017-09/01/c_136572076.htm

²² The New America Foundation. [en línea]. Mayo 2015. [Citado, Septiembre, 20, 2017]. Disponible en internet: <https://droneregulations.info/>

cooperación para tomar la seguridad con responsabilidad y cumplir tanto con la reglamentación exigida como con términos contractuales que adicionen precauciones adicionales en la operación.

4.6 REGULACIÓN EN ÁFRICA

En Marruecos están prohibidos por ley los drones de cualquier tipo, incluidos los drones caseros aptos para todos los públicos utilizados para fotografías-videos y cuyo peso y tamaño suele ser menor que el de una paloma. Una medida extrema en cuanto a seguridad se refiere.

En Kenia hasta principios del año 2017 se han aprobado las regulaciones para los drones, convirtiéndose en el segundo país después de Ruanda en la región por abrazar el uso comercial de vehículos aéreos no tripulados (AUV)²³. El movimiento se produce como un impulso a las empresas, que han estado esperando la luz verde para importar drones sin preocuparse por las implicaciones legales. El regulador de aviación, Aviación Civil de Kenia (KCAA), dice que la aprobación se realizó después de que la agencia se reunió con los principales órganos de seguridad para discutir los borradores de las regulaciones. Estas regulaciones al ser tan jóvenes no estipulan grandes especificaciones técnicas en cuanto a sistemas de recuperación segura.

4.7 CONCLUSIÓN SOBRE REGLAMENTACIÓN Y NORMATIVIDAD

En conclusión, alrededor del mundo se puede evidenciar un proceder diligente en cuanto a normatividad se refiere, aunque todavía hay un camino por recorrer para alcanzar un equilibrio entre el libre crecimiento de esta tecnología, la protección a la privacidad y la defensa a la integridad física de la población. Se abre la posibilidad a que de alguna forma los operadores mitiguen el daño que podrían causar, al instalar sistemas de recuperación segura, sin que sea un requisito u obligación incluirlo, puesto que no está demostrado que alguno de estos sistemas cumpla con salvaguardar el equipo en cualquier circunstancia.

Por ello la importancia de no dejar de lado todo el trabajo que se pueda hacer a nivel de desarrollo en estos sistemas de recuperación, siempre que esto representa un aporte tanto a la tecnología como a la población. La responsabilidad social es tan importante como la productividad de la industria de los UAV, por lo que se considera de gran importancia el trabajo realizado en este proyecto para el desarrollo del **Shoting Guard**.

²³ Rawlins. Lauren Kate, [en línea]. febrero 2017. [Citado, Septiembre, 20, 2017]. Disponible en internet: <https://www.uasvision.com/2017/02/10/drastic-increase-in-south-african-drone-traffic/>

5. ESTADÍSTICA SOBRE CAUSAS DE ACCIDENTALIDAD

En este apartado se muestran los resultados de una encuesta que se realizó a pilotos y operadores de UAV, preguntándoles en su experiencia cuales han sido las causas por las que se han visto en emergencia con sus equipos. Para el diseño de la encuesta se tomó en cuenta la información recolectada en las bitácoras de vuelo de las operaciones realizadas en demostraciones, entregas y misiones o trabajos realizados por la compañía, en estas bitácoras se almacena la información referente a todo lo que sucede con la aeronave desde que despegue hasta que aterriza, se encuentran datos como nombres de operador y piloto de la aeronave, lugar, hora, fecha, consumos de amperaje, voltaje de inicio y fin de misión, orientación del viento, temperatura relativa, entre otras, esta información es compilada y analizada para completar modelos de diseño de desarrollos en la compañía, como es el caso de este proyecto.

La información a la que se presta atención en este caso es la sección donde se especifica si se presentó alguna falla, accidente o inconveniente en la operación, sumando una breve descripción del acontecimiento, las posibles causas y soluciones que se proponen o se dieron en el momento. De este modo se elige dentro de las diferentes causas, las que con más frecuencia podrían presentar a otros pilotos y operadores, para así diseñar las siguientes preguntas.

5.1 FORMULACIÓN DE LA ENCUESTA


Potenciales fallos o accidentes en UAVs

Se pretende detectar que tipo de inconveniente o anomalía se tiene con más frecuencia al momento de operar su UAV. ¿Con que nivel de ocurrencia ha tenido fallos o accidentes por ...?

1. ¿Agotamiento o daño de batería en su UAV?
2. ¿Daño de algún componente, "*speed control*", motor, sensor, comunicación, otros"?
3. ¿Ausencia de un sistema de recuperación, como por ejemplo un paracaídas?
4. ¿Factores climáticos, como ráfagas de viento, corrientes térmicas o lluvia?
5. ¿Falta de pericia del piloto?
6. ¿Mala planificación?
7. ¿Fallas estructurales?
8. ¿Pérdida de comunicación con su UAV?

Cada una de las preguntas se formula con opción múltiple de los diferentes niveles de frecuencia (muy alto, alto, medio, bajo e insignificante) haciendo uso de la plataforma online “formularios de Google”²⁴, ver ilustración 5, la cual es gratuita y puede ser difundida fácilmente por la web, además que genera automáticamente y en tiempo real graficas esquemáticas de los porcentajes con los que los diferentes encuestados escogieron alguna de las opciones planteadas en las diferentes preguntas.

Ilustración 5. Encuesta vista en formularios de Google



Potenciales fallos o accidentes en UAVs

Al momento de operar su UAV, ¿Con que nivel de ocurrencia ha tenido fallos o accidentes por ...?

1. ¿Agotamiento o daño de batería en su UAV?

☐ Muy Alto

☐ Alto

☐ Medio

☐ Bajo

☐ Insignificante

2. ¿daño de algún componente, "speed control, motor, sensor, comunicación, otros"?

☐ Muy Alto

☐ Alto

☐ Medio

☐ Bajo

☐ Insignificante

Fuente. Ilustración. Formularios de Google.

5.2 FICHA TÉCNICA DE LA ENCUESTA

La encuesta fue distribuida por medio de correo electrónico y en redes sociales, ver ilustración 6, con apoyo de la Asociación de Pilotos de Drones (APD)²⁵, quienes la ayudaron a difundir entre sus asociados y estudiantes. Además, se presenta en grupos de Facebook relacionados con drones.

²⁴ support.google. Usar Formularios de Google [en línea]. septiembre 2017. [Citado, Septiembre, 20, 2017]. Disponible en internet:

<https://support.google.com/docs/answer/6281888?co=GENIE.Platform%3DDesktop&hl=es>

²⁵ Heredia, Pablo. Quienes somos APD. [en línea]. Febrero 2017. [Citado, Octubre, 10, 2017]. Disponible en internet: <http://www.apd.org/home-page/>

Ilustración 6. Publicación de encuesta en páginas de Facebook



Fuente. Ilustración. Grupo en Facebook pilotos de drones Colombia.

La población a la que se dirige la encuesta es a todo aquel quien tenga o haya tenido vinculación en la operación de un UAV, en cualquiera de sus distintas aplicaciones, sea a nivel de entretenimiento como a nivel industrial.

Tabla 1. Ficha técnica encuesta

Ficha técnica de la encuesta	
Momento estadístico	Entre el 23 de agosto y el 10 de octubre de 2017
Población objetivo	Pilotos, operadores y aficionados de los drones, UAV, RPAS, Aeromodelistas y conocedores de la aviación no tripulada. Se estima según cifras de APD; 322 pilotos registrados.
Tamaño de la muestra	284 encuestas
Margen de error	2% se asume la probabilidad de éxito-fracaso ²⁶ de 50%
Nivel de confianza	95%
Método de recolección	Correo electrónico y redes sociales.

Fuente, Autor. Octubre 2017

5.3 RESULTADOS DE LA ENCUESTA

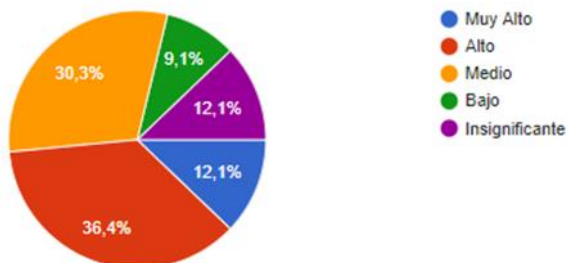
A continuación, en las gráficas 2, 3 y 4, se presentan los resultados obtenidos de forma individual en las preguntas que destacaron por encontrarse en el nivel medio-alto de ocurrencia, para así detallar una conclusión sólida que permita establecer un camino de acción.

²⁶ Datum Internacional. calcular el margen de error. [en línea]. Noviembre 2006. [Citado, Septiembre, 20, 2017]. Disponible en internet: <http://www.datum.com.pe/margendeerror.php>

Grafica 2. Torta porcentual pregunta 1

1. ¿Agotamiento o daño de batería en su UAV?

284 respuestas

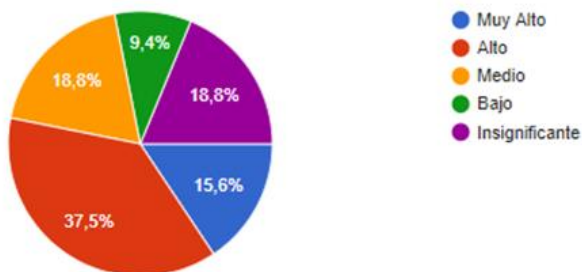


Fuente. Autor.

Grafica 3. Torta porcentual pregunta 3

3. ¿Ausencia de un sistema de recuperación, como por ejemplo un paracaídas ?

284 respuestas

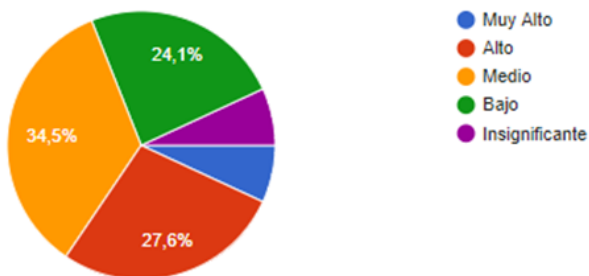


Fuente. Autor.

Grafica 4. Torta porcentual pregunta 5

5. ¿Falta de pericia del piloto?

284 respuestas



Fuente. Autor.

5.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

De las ocho preguntas realizadas destacan tres en las que los porcentajes de frecuencia de respuesta mantuvieron las opciones medio y alto en porcentajes superiores a las demás opciones, como se expone en la tabla 2, por tanto se determina que siendo los problemas que más afectan a los pilotos y operadores de Drones, merece atención al darles solución con este proyecto y de esta forma delimitar de forma concreta la capacidad de procesamiento con la que debe contar el dispositivo *Shooting Guard*.

Tabla 2. Matriz de riesgo

Descripción	Frecuencia	Causas	Consecuencias	Tratamiento
1. ¿Agotamiento o daño de batería en su UAV?	Alto	Envejecimiento de la batería, baja carga, consumos desmedidos, desconexión.	Falla de sistemas a nivel general, sin energía para activar paracaídas, sin registro de última ubicación.	Debería existir una batería de respaldo que suministre energía a una baliza y/o al sistema de recuperación.
3. ¿Ausencia de un sistema de recuperación, como por ejemplo un paracaídas?	Alto	Poca capacidad de carga adicional, costos, poco comercial	Caída libre, posibilidad de daño total, daños a estructura o sensores, daños a terceros	Instalar paracaídas acorde al tamaño, sistema de accionamiento genérico.
5. ¿Falta de pericia del piloto?	Medio	Poca experiencia, poco entrenamiento, exceso de confianza	Daños a estructura o sensores, daños a terceros	Instalar un sistema suplente que actúe en ausencia de autopiloto.

Fuente, Autor. Octubre 2017

Esta presentación cualitativa de los datos permite entonces diseñar el algoritmo que establece los parámetros de programación del dispositivo y de esta forma seleccionar los elementos electrónicos necesarios para conseguir los resultados esperados.

6. DISEÑO DEL ALGORITMO

6.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Un avión *Skywalker X8* de *Designing Innovation* se encuentra en operación, esta aeronave es propulsada con un motor eléctrico de 840KV, controlada con una autopiloto *PixHawk*, tiene un vuelo autónomo programado a 10 Km de distancia del lugar de despegue, se estima que esta misión tenga un tiempo estimado de una hora veinte minutos, con una batería de 14,8 V a 16 A; como carga útil, transporta una cámara de alta resolución que permite capturar la topografía del lugar, video para vigilancia o imágenes multiespectrales, cuenta con un paracaídas accionado por SHGR, existe la posibilidad de que el piloto lo tome en modo manual por si se percibe alguna anomalía, en la estación terrena se cuenta con un equipo de cómputo que muestra los datos de los sensores y del estado del avión en tiempo real por medio del *software Mission Planner*, el cual tiene conectado al receptor de telemetría una antena *Yagi* de alta ganancia que permite estar conectado en todo momento a la computadora de vuelo, finalmente se espera recibir el equipo en óptimas condiciones al aterrizar asistido automáticamente por el paracaídas.

6.2 ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Los datos que se toman como relevantes son: voltaje, amperaje y altitud.

Se asume que los problemas que se pueden presentar son:

- Voltaje de entrada = 0V
- Altitud relativa inferior a 30m
- Descenso peligroso y no hay apertura de paracaídas.

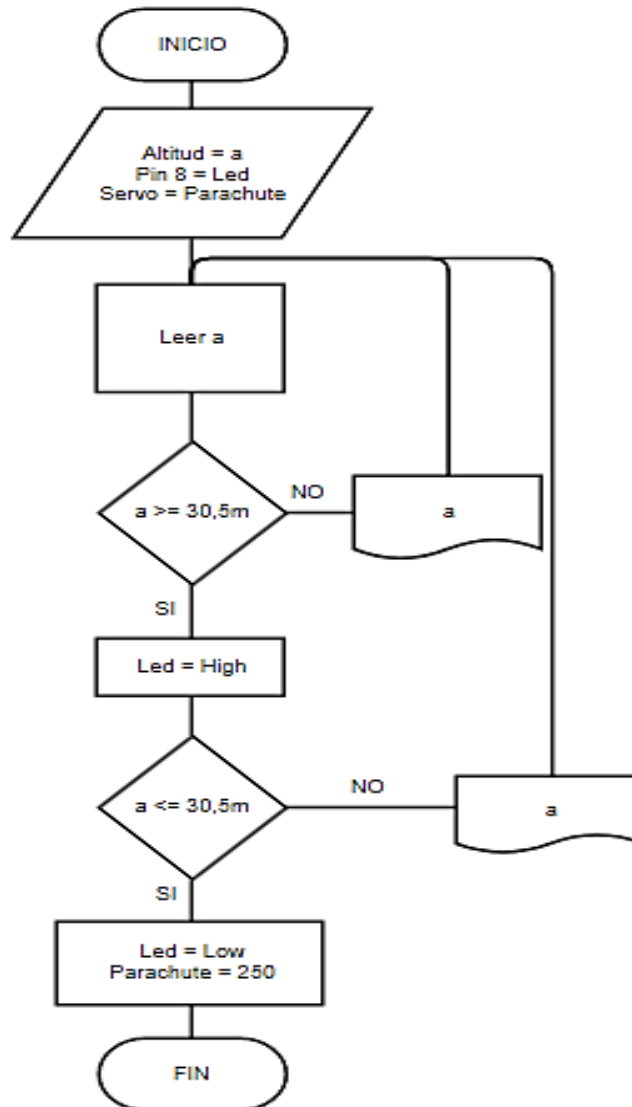
En el caso en el que el UAV luego de haber despegado, por alguna razón presente un fallo y alcance una altura inferior o igual a la altura programada para que se despliegue el paracaídas y este no se accione, debería el SHGR respaldar dicha acción y garantizar que el paracaídas sea desplegado.

Si la batería falla y el UAV queda sin energía, de modo que no pueda accionar el servo para desplegar el paracaídas, el SHGR debe suministrar la energía de respaldo necesaria para desplegar el paracaídas.

6.3 DIAGRAMA DE FLUJO

En el diagrama de flujo, ver ilustración 7, se ordena de forma lógica la información recolectada con la que más adelante se procederá a escribir el código.

Ilustración 7. Diagrama de flujo



Fuente. Autor.

En el diagrama se establecen los datos altitud, Pin 8 y servo, el pin 8 e refiere a la posición donde se conectará el led en el *Arduino*, de esta forma se itera preguntando por el valor de la altitud, generando una condición al superar los 30,5 metros y luego otra al descender nuevamente a esa altitud para finalmente activar el servo.

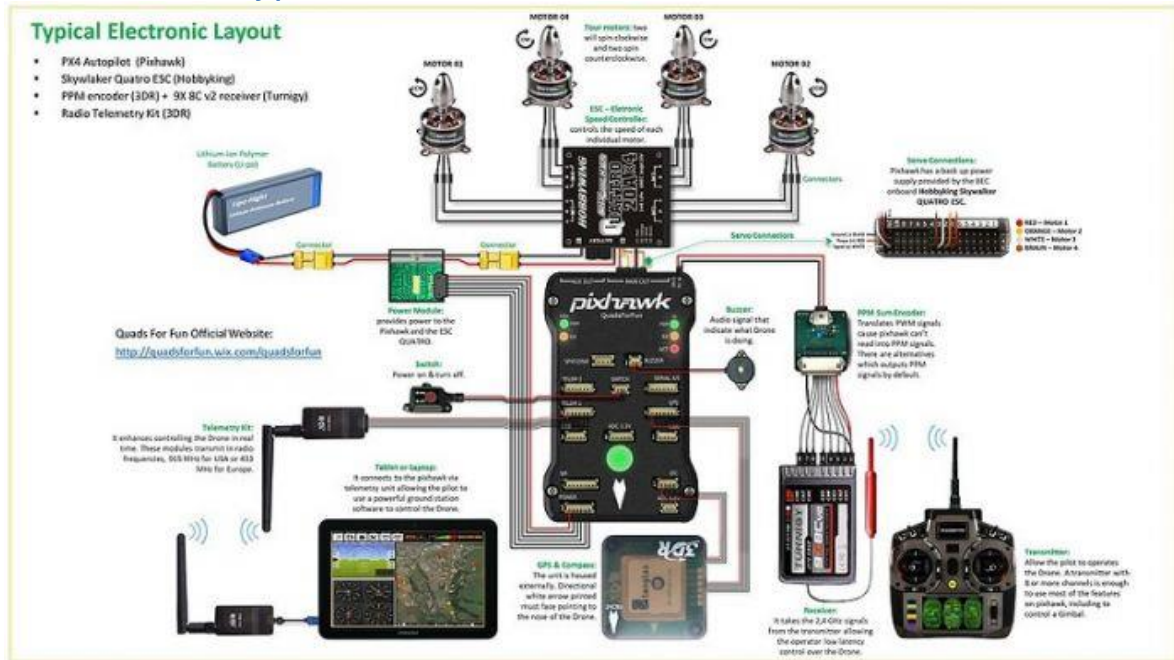
7. AVIÓNICA Y SOFTWARE DISPONIBLE

Para la programación y ejecución del programa es necesario contar con la interfaz adecuada, por ello a continuación se describen los elementos con los que se cuenta y los que se deben adicionar, para conseguir cumplir con lo planteado en el algoritmo anterior por medio de un código, en el que se programe la vinculación e interacción de los diferentes componentes.

7.1 PIXHAWK

Computadora central de vuelo diseñada para vehículos aéreos no tripulados, la cual integra en su interior, sensores de estabilización y posicionamiento como giroscopios y acelerómetros, sensores de presión, temperatura, entre otros, además es capaz de controlar distintos periféricos que se le pueden conectar en los diferentes puertos seriales o que manejen protocolo de comunicación I2C, ver Ilustración 88, es capaz de procesar la información recibida, almacenarla y mostrarla en una interface gráfica en la que se le puede programar misiones autónomas, modos de vuelo, captura de video, obturación de cámaras para obtención de fotogramas, control del movimiento del *gimbal* que estabiliza la cámara, activación de sistemas de riego, activación de sistemas de recuperación, entre otras. Con esta computadora de vuelo se equipan los UAV de la compañía, dada su versatilidad, precio económico, en comparación con dispositivos similares, y sobre todo por su intuitiva interface, la cual permite a los clientes y operadores de la compañía entender y trabajar cómodamente con el dispositivo, además al ser una de las plataformas más usadas se encuentra bastante información disponible que proporciona un soporte técnico oportuno.

Ilustración 8 Pixhawk y periféricos

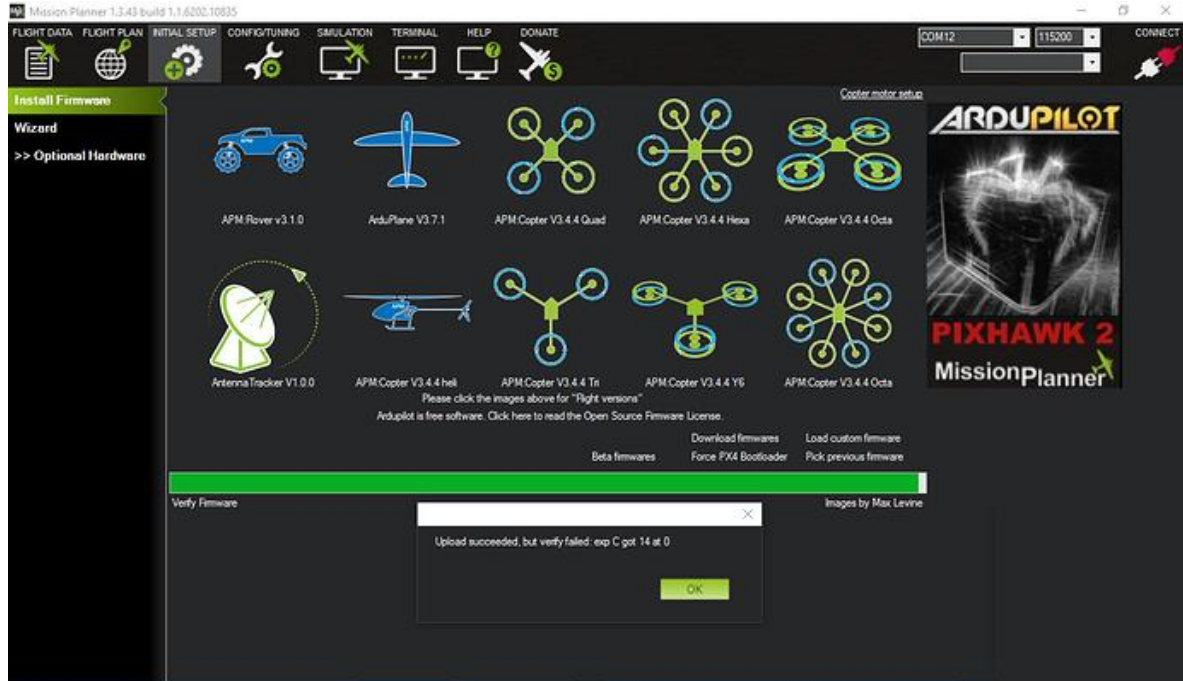


Fuente. Ardupilot, disponible en www.ardupilot.com

7.2 MISSION PLANNER

Software de programación y control de UAV desarrollado por la compañía Ardupilot en el cual se vinculan los dispositivos electrónicos montados en la plataforma del UAV, por medio de módulos de comunicación para transmisión y recepción de telemetría, lo que permite controlar y monitorear el UAV, en esta plataforma se pueden configurar distintas plataformas controladas con control remoto, por lo que es ampliamente utilizado al redero del mundo, ver Ilustración 9.

Ilustración 9 Rovers con Mission Planner



Fuente. Ilustración. Disponible en [3]

Desde esta interface se tiene acceso a la configuración y lectura de lo que cada periférico conectado puede entregar, siendo una herramienta muy completa que permite obtener el mejor rendimiento de cada componente, para así sacar el mejor provecho del UAV configurado. En este *software* se tiene acceso a la parametrización de PID's dependiendo la configuración motriz que se tenga, se cuenta con la posibilidad de generar limitaciones en los movimientos de alabeo, cabeceo y giñada para el caso de aeronaves, es capaz de llevar acabo recorridos basados en coordenadas GPS o de geo localización, incluso se puede configurar el reconocimiento de obstáculos y evasión de estos, todo esto y acciones que no competen en el momento al propósito de este proyecto, es posible gracias a su naturaleza de código abierto.

Ardupilot al lanzar este y otros de sus productos, toma la decisión de hacerlo con la posibilidad de que el usuario final tenga casi pleno acceso sobre el código y funciones que dan origen a la plataforma, lo que ha permitido que muchos aportes lleguen a su departamento de desarrollo, lo que ha permitido un crecimiento acelerado y permanente, en comparación a compañías similares con filosofías de mercado diferentes.

7.3 ARDUINO

Es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (*open-source*) basada en *hardware* y *software* flexibles y fáciles de usar. Está pensado para estudiantes,

profesionales de la electrónica y afines, artistas, diseñadores y para cualquiera interesado en crear proyectos, prototipos o entornos interactivos²⁷. Para el caso de este proyecto se utiliza como herramienta de comprobación del prototipo y algunas de sus partes para el montaje de la placa final.

Arduino cuenta con una gran variedad de placas con diferentes características y capacidades, además comercializa una infinidad de sensores y placas periféricas que pueden conectarse a sus placas principales para ser programadas y cumplir la función que el usuario final quiera darle. Para el fin de este proyecto se usaron dos tipos distintos de placa principal de Arduino, el Arduino UNO y el Arduino Nano.

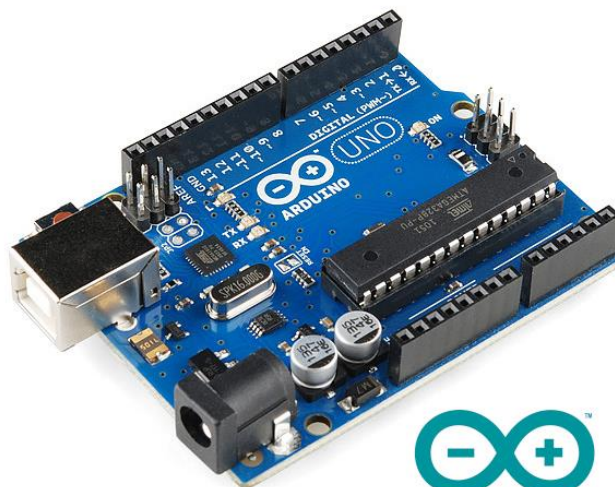
7.3.1 Arduino UNO

Utiliza el micro controlador ATmega328. Este Arduino utiliza el ATmega16U2 para el manejo de USB en lugar del 8U2, esto permite rangos de transferencia más rápidos y más memoria. No se necesitan drivers para los diferentes sistemas operativos.

El Arduino es una plataforma computacional física *open-source* basada en una simple tarjeta de I/O y un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje *Processing/Wiring*. El Arduino Uno R3 puede ser utilizado para desarrollar objetos interactivos o puede ser conectado a software de la computadora (por ejemplo, *Flash, Processing, MaxMSP*). La interface gráfica de programación *open-source* puede ser descargada gratuitamente. Ver ilustración 10.

²⁷ Ojeda. Luis Thayer. ¿Qué es arduino? [en línea]. Mayo 2015. [Citado, noviembre, 10, 2017]. Disponible en internet: <http://arduino.cl/que-es-arduino/>

Ilustración 10 Arduino UNO



Authorized Distributor

Fuente. Arduino. Disponible en www.arduino.com

Tabla 3. Características de Arduino uno

Características:
Microcontrolador ATmega328p
Voltaje de entrada 7-12V
14 pines digitales de I/O (6 salidas PWM).
6 entradas análogas.
32k de memoria Flash.
Reloj de 16MHz de velocidad.

Fuente. Arduino, Disponible en www.arduino.com

7.3.2 Arduino Nano

El Arduino Nano es una pequeña, pero poderosa tarjeta basada en el ATmega328. Posee las mismas funcionalidades que un Arduino UNO, solo que en un tamaño reducido. Para programarla solo se necesita de un cable Mini USB.

El Arduino Nano puede ser alimentado usando el cable USB Mini-B, con una fuente externa no regulada de 6-20V (pin 30), o con una fuente externa regulada de 5V

(pin 27). La fuente de alimentación es seleccionada automáticamente a aquella con mayor tensión. Ver ilustración 11.

Ilustración 11 Arduino Nano



Fuente. Arduino. Disponible en www.arduino.com

Tabla 4. Características Arduino nano

Características:
Microcontrolador ATmega328p
Voltaje de entrada 7-12V
Voltaje de operación: 5V
I/O Digitales: 14 (6 son PWM)
Memoria Flash: 32KB
Frecuencia de trabajo: 16MHz
Dimensiones: 0.73" x 1.70"

Fuente. Arduino, Disponible en www.arduino.com

7.4 BMP180

El sensor de presión barométrica BMP180 está diseñado para leer la presión atmosférica y la temperatura, para de esta forma estimar indirectamente la Altura sobre el nivel del mar, al censar la temperatura podemos compensar su influencia en la presión y así determinar con mayor exactitud la altitud.

El módulo BMP180 incluye además del sensor BMP180, un regulador de voltaje (5V a 3.3V), resistencias *pull-up* y capacitores *by-pass*. El Módulo puede alimentarse directamente de la salida de 5V de Arduino. Posee un formato pequeño y de bajo consumo de corriente.

Ilustración 12 Sensor BMP180



Fuente. Arduino. Disponible en www.arduino.com

Tabla 5. características BMP180

Características:
Protocolo de comunicación: SPI / I2C
Resolución: 0,0016 hPa / 0.01°C
Ultra-bajo consumo de energía
Medición de temperatura incluida
Alimentación: 1.8V – 3.6V
Rango de medición: 300 hPa – 1100hPa
Dirección I2C: 76H (SDO: 0) / 77H (SDO: 1)
Rango de presión: 300 hPa - 1100 hPa / -500 metros - +9000 metros (sobre el nivel del mar)
Precisión: +- 0,12 hPa / +- 1m.

Fuente. Arduino, Disponible en www.arduino.com

7.5 PRESIÓN ATMOSFÉRICA

Es la fuerza que ejerce el aire (atmósfera) sobre la superficie de la tierra. La presión atmosférica se debe al peso de la columna de aire sobre determinada área, es por esta razón que, al medir la presión atmosférica en puntos con mayor altitud, el valor

de la presión es menor por ser menor la cantidad de aire²⁸. La presión atmosférica también varía con el clima, principalmente con la temperatura, pues esta hace cambiar la densidad del aire, que se ve reflejado en un cambio en el peso y por consiguiente en un cambio de presión.

Entonces, la presión atmosférica varía con la temperatura y la altitud, estas dos variables son las más representativas para el cambio de presión. Factores como la humedad relativa y la velocidad del viento también influyen en la presión atmosférica en menor forma y pueden ser obviados.

7.5.1 BAROMETRO

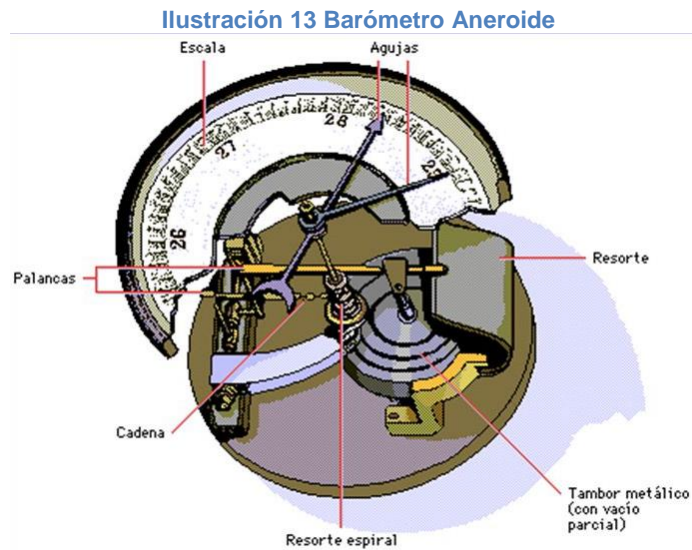
Los primeros barómetros fueron construidos por el físico y matemático italiano Evangelista Torricelli en el siglo XVII. La presión atmosférica equivale a la altura de una columna de agua de unos 10,33 m de altura. En los barómetros de mercurio, cuya densidad es unas 13,5 veces mayor que la del agua, la columna de mercurio sostenida por la presión atmosférica al nivel del mar es de unos 76 cm.

La presión atmosférica normalizada, 1 atmósfera, fue definida como la presión atmosférica media al nivel del mar, que se adoptó como exactamente 101.325 Pa / 1013,25 hPa / 760 Torr. (Equivalente al peso de 10,33 m de agua). Normalmente la presión atmosférica se da en milibares, y la presión normal al nivel del mar se considera igual a 1013,25 milibares²⁹. En unidades del Sistema Internacional de Unidades, la presión se mide en pascales, aunque cuando se trata de presión atmosférica se suele utilizar el hectopascal, equivalente al milibar (1 mbar = 1 hPa). En el caso de los barómetros aneroides, ver figura 13, están conformados por una caja que contiene aire a baja presión. Adosada a dicha caja se incluye una varilla metálica que mueve una aguja situada sobre un disco graduado. Cuando aumenta la presión se comprime la caja y sube la varilla, y viceversa³⁰.

²⁸ Fisicalab, presión atmosférica [en línea] noviembre 2017. [citado 14 de noviembre de 2017] disponible en internet: <https://www.fisicalab.com/apartado/presion-atmosferica#contenidos>

²⁹ Muñoz, Miguel Angel, Presión barométrica, [en línea] noviembre de 2017. [citado 14 de noviembre de 2017] disponible en internet: <http://www.manualvuelo.com/PBV/PBV11.html>

³⁰ Fisicalab. Op, cit.



Fuente. Miguel Ángel Muñoz, disponible en www.manualvuelo.com

7.5.2 ALTÍMETRO

El altímetro muestra la altura a la cual está volando una aeronave. Para interpretar su información, el piloto debe conocer sus principios de funcionamiento y el efecto de la presión atmosférica y la temperatura sobre este instrumento. Es simplemente un barómetro aneroide que, a partir de las tomas estáticas, mide la presión atmosférica existente a la altura en que el avión se encuentra y presenta esta medición traducida en altitud, normalmente en pies³¹.

7.6 SENSOR *BLUETOOTH* HC-06

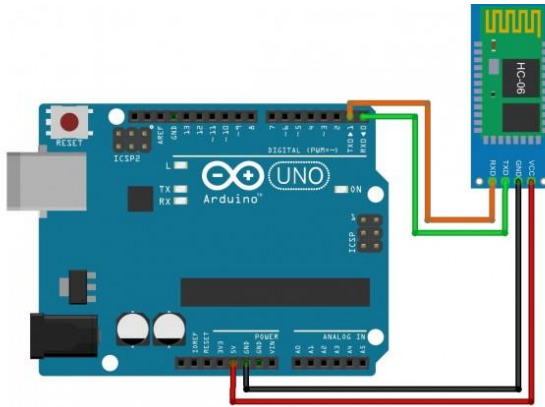
El módulo *Bluetooth* HC-06 es uno de los dispositivos más populares, usado para añadirle la funcionalidad de la comunicación *Bluetooth* a proyectos con Arduino o microcontroladores. Se trata de dispositivos relativamente económicos y que se adquieren en un formato que se permite insertarlo en una *proto-board* directamente y conectarlo a cualquier microcontrolador sin necesidad de soldaduras³².

Un módulo *Bluetooth* HC-06 se comporta como esclavo, esperando peticiones de conexión, Si algún dispositivo se conecta, el HC-06 transmite a este todos los datos que recibe del Arduino y viceversa. Este se compone de 4 pines, que se describen a continuación. Ver ilustración 14.

³¹ Muñoz, Miguel Angel. Op, cit.

³² Naylamp mechatronics, conexión del modulo Bluetooth HC-06, [en línea] noviembre de 2017. [citado 14 de noviembre de 2017] disponible en internet: http://www.naylampmechatronics.com/blog/24_Configuraci%C3%B3n--del-m%C3%B3dulo-bluetooth-HC-05-usa.html

Ilustración 14 conexión de Arduino a bluetooth



Fuente. Naylamp mechatronics. Disponible en www.naylampmechatronics.com

- Vcc, Voltaje positivo de alimentación, aquí hay que tener cuidado porque hay módulos que solo soportan voltajes de 3.3V, pero en su mayoría ya vienen acondicionados para q trabajen en el rango de 3.3V a 6V, pero es bueno revisar los dato técnicos de nuestro modulo antes de hacer las conexiones
- GND, Voltaje negativo de alimentación, se tienen que conectar al GND del Arduino o al GND de la placa que se esté usando.
- TX, Pin de Transmisión de datos, por este pin el HC-06 transmite los datos que le llegan desde la PC o Móvil mediante *Bluetooth*, este pin debe ir conectado al pin RX del Arduino
- RX, pin de Recepción, a través de este pin el HC-06 recibirá los datos del Arduino los cuales se transmitirán por *Bluetooth*, este pin va conectado al Pin TX del Arduino

Explicado esto, para comenzar a hacer pruebas y comprobar que nuestro HC-06 nos funciona correctamente, usando cables Dupont macho-hembra procedemos a realizar las siguientes conexiones entre nuestro modulo *Bluetooth* y nuestro Arduino UNO R3 (se pueden realizar las mismas conexiones con el Arduino Mega, Arduino Nano, etc. e iría perfectamente).

El módulo HC-06 tiene dos modos de funcionar Maestro y Esclavo. Esto significa que no solo trabaja en la función esclavo que sería esperando ordenes que le puedes enviar desde un PC o desde un Smartphone, como es este el caso, sino que también puede actuar como maestro y ser él quien se conecta a otro dispositivo *Bluetooth*, pudiendo así crear una conexión bidireccional punto a punto entre dos módulos permitiendo transferir y recibir información³³.

³³ Naylamp mechatronics. Op, cit.

7.7 COMPONENTES POR INTEGRAR

Con lo anterior se establece entonces que siendo el PixHawk el actual comandante del servo del sistema de paracaídas, debe ser entre esa conexión que se instale el SHGR, sin quitarle autonomía sobre el servo al PixHawk y retroalimentándose de este mientras no presente ninguna falla; en el caso que la presente sea por energía o comunicación, el SHGR debe servir de respaldo y accionar el servo cuando detecte la altura programada, a través de una batería de respaldo.

Por medio de *Mission Planner* se programa la configuración pertinente al accionamiento del paracaídas, siempre que la computadora de vuelo se encuentre en capacidad. Finalmente, al verificar funcionamiento con las placas de Arduino se procederá a la integración y conexión final.

8. CODIGO Y PROGRAMACIÓN

Para la construcción del código se toma como apoyo el diagrama de flujo esquematizado para el algoritmo y más adelante se explica utilizando frases en forma de pseudocódigo para entender que se hace en cada momento de funcionamiento del dispositivo.

El código se escribió en la interface de Arduino para *Windows*, que utiliza lenguaje de programación C++, apoyado con librerías que suministra Arduino para facilitar el trabajo en su plataforma de programación.

8.1 LIBRERÍA PARA EL SENSOR DE PRESIÓN BMP180

Es necesario descargar e importar la librería a *software* de trabajo de Arduino, y es prudente definir algunas de las funciones que se pueden utilizar con esta librería:

➤ `begin()`

Inicializa el sensor BMP180, retorna 1 si la inicialización es correcta o 0 si ha fallado.

➤ `startTemperature()`

Función para iniciar una medición de temperatura y retorna el tiempo en milisegundos que necesitamos esperar antes de obtener la lectura. Si retorna un 0, es porque ha fallado el inicio de la medición de temperatura.

➤ `getTemperature(T)`

Obtener la temperatura en la variable T, antes de usar esta función es necesario llamar a la función `startTemperature()` y que haya transcurrido el tiempo adecuado para la lectura; retorna 1 o 0 si la lectura se ha realizado con éxito o no respectivamente.

➤ `startPressure(Sobremuestreo);`

Función para iniciar una medición de presión, hay que indicar la cantidad de muestras adicionales (de 0 a 3) que el sensor debe tomar para la lectura de la presión y nos retorna el tiempo en milisegundos que necesitamos esperar antes de obtener la lectura. Si retorna un 0, es porque ha fallado el inicio de la medición de presión.

➤ `getPressure(P, T);`

Obtener el valor de la medición iniciado previamente con `startPressure()`; es necesario darle como parámetro la temperatura T el cual servirá para compensar la influencia de la temperatura en el cálculo de la presión, el valor de la presión absoluta se guarda en la variable P. Retorna 1 o 0 si la lectura se ha realizado con éxito o no respectivamente.

➤ `altitude(P, Po);`

Calcula la altitud entre el punto donde se ha tomado la lectura de presión P (en mbar) con respecto a un punto de referencia con presión P_o (en mbar). Nos retorna el valor de la altitud en metros.

➤ `sealevel(P, A);`

Esta función realiza el cálculo inverso a altitud (P, P_o), Dado una presión P (en mbar) y una altitud A (en metros) calcula la presión al nivel del mar o punto desde donde se mide la altura. Retorna el valor de la presión en mbar.

8.2 COMPROBACIÓN Y FRAGMENTO DEL CÓDIGO

Para cada uno de los componentes se realizó conexión y prueba de correcto funcionamiento antes de integrarlos, para lo cual se usa códigos de ejemplo, precargados con las librerías instaladas, en esta comprobación se comprobó que el servo tuviera los recorridos máximos y mínimos necesarios para accionar el paracaídas, por otro lado se comprobó que el sensor BMP180, consiguiera sensar tanto temperatura como presión, para conseguir entonces la medición de altitud que es la que se usa en la codificación del SHGR; encontrando así que el servo cuenta con las características necesarias y que el sensor BMP180 cumple con lo descrito por sus características técnicas definidas en la sección anterior de este documento.

Así se procede a escribir las líneas de código necesarias para la programación integrada del SHGR, lo que se presenta a continuación con la interface gráfica de Arduino. Ver ANEXO 1.

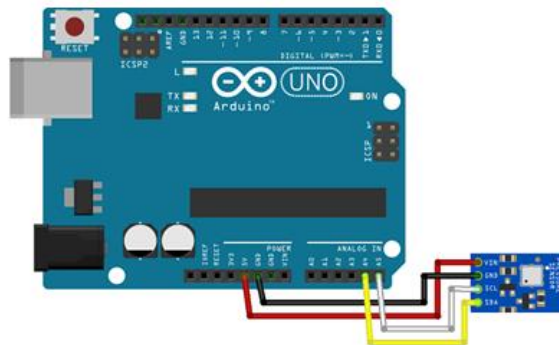
9. CONEXIONES E INTEGRACIÓN

Teniendo en cuenta que el SHGR debe actuar como redundancia y su función no es la de reemplazar la computadora de vuelo, del PixHawk se usa una de las salidas auxiliares para conectar por medio de una extensión de servo, que transporte una señal PWM, tierra y voltaje entre 5v y 12v, la cual se conectara a la entrada del SHGR, en el otro extremo, en la salida del SHGR, se conecta el servo directamente, quien a su vez será el que accione el sistema de eyección del paracaídas.

La sencillez de la conexión permite que el usuario final no tenga problemas relacionados con la incorporación de este en sus sistemas, además que se debe respetar la premisa que recalca que entre menos pesen los sistemas y aviónica abordo, se tendrá más autonomía o más carga útil, que en términos industriales se traduce en mayor beneficio económico.

El montaje inicial se hace sobre el Arduino UNO, ver ilustración 15, en el que se prueba el funcionamiento del sensor BMP180, cargado un código de ejemplo de los que acompaña la librería, con lo que se toman los primeros datos de altitud.

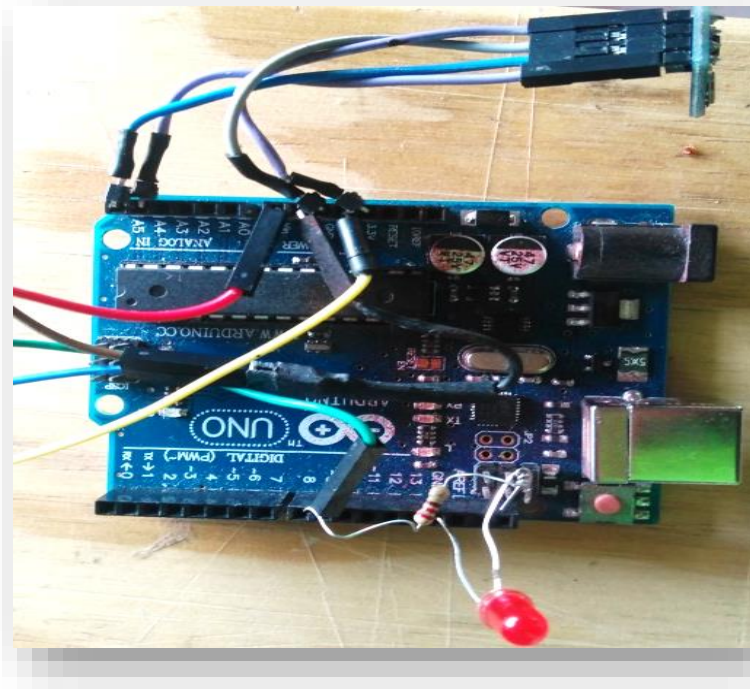
Ilustración 15 conexión Arduino a BMP180



Fuente. Arduino. Disponible en www.arduino.com

Luego se procede a conectar el servo y el Led para así parametrizar rangos y datos de funcionamiento y ver que se cumplan las condiciones codificadas, estas pruebas básicas permiten conocer las velocidades de acción y retraso que se deban tener en cuenta para la instalación de las pruebas. Ver ilustración 16.

Ilustración 16 Conexiones en Arduino UNO



Fuente. Autor

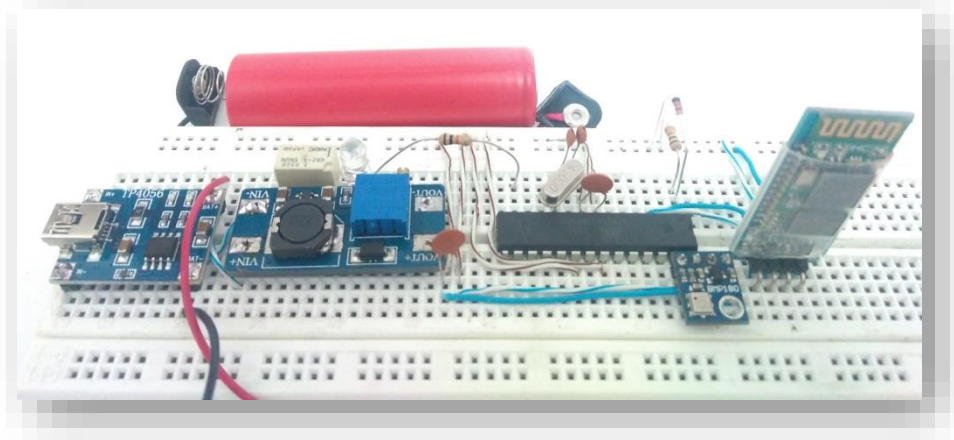
Con este montaje se establece además que el código está compilando de forma adecuada, de esta forma se realizan las primeras pruebas y procede a realizar el montaje en el Arduino Nano para disminuir el volumen del dispositivo de prueba. Y así poder adecuarlo en el espacio disponible en la aeronave de prueba. Con el análisis expuesto más adelante, se hacen apreciaciones al montaje y se decide integrar, componentes adicionales y proceder con el diseño del circuito para montaje en una placa de baquelita o PCB.

Dentro de los componentes adicionales se incluye el módulo *bluetooth* HC-06, con el cual se tendrá comunicación con el dispositivo, conectándolo al celular por medio de una aplicación que muestra el monitor serial del entorno de desarrollo integrado de Arduino y por la cual se puede variar la altura en la que se quiere despliegue el paracaídas, ya que las condiciones atmosféricas relacionadas con velocidades y dirección del viento y las condiciones geográficas en cuanto a obstáculos se refiere, deben poderse considerar y tomar decisión frente a ello.

Por otro lado, se considera relevante el uso de un *Buzzer* o bocina que emita un sonido de alerta cuando el UAV este descendiendo, con el fin de dar aviso a transeúntes que se encuentren desprevenidos y en el área de aterrizaje del UAV. Para dicho montaje se determina que componentes del Arduino están vinculados estrictamente a cumplir la función que en el código se establece, de esta forma se

podría disponer de los componentes en la distribución que mejor se acomode a la geometría final del dispositivo. Para ello se realiza el montaje de los componentes en una *protoboard* como se muestra en la ilustración 17.

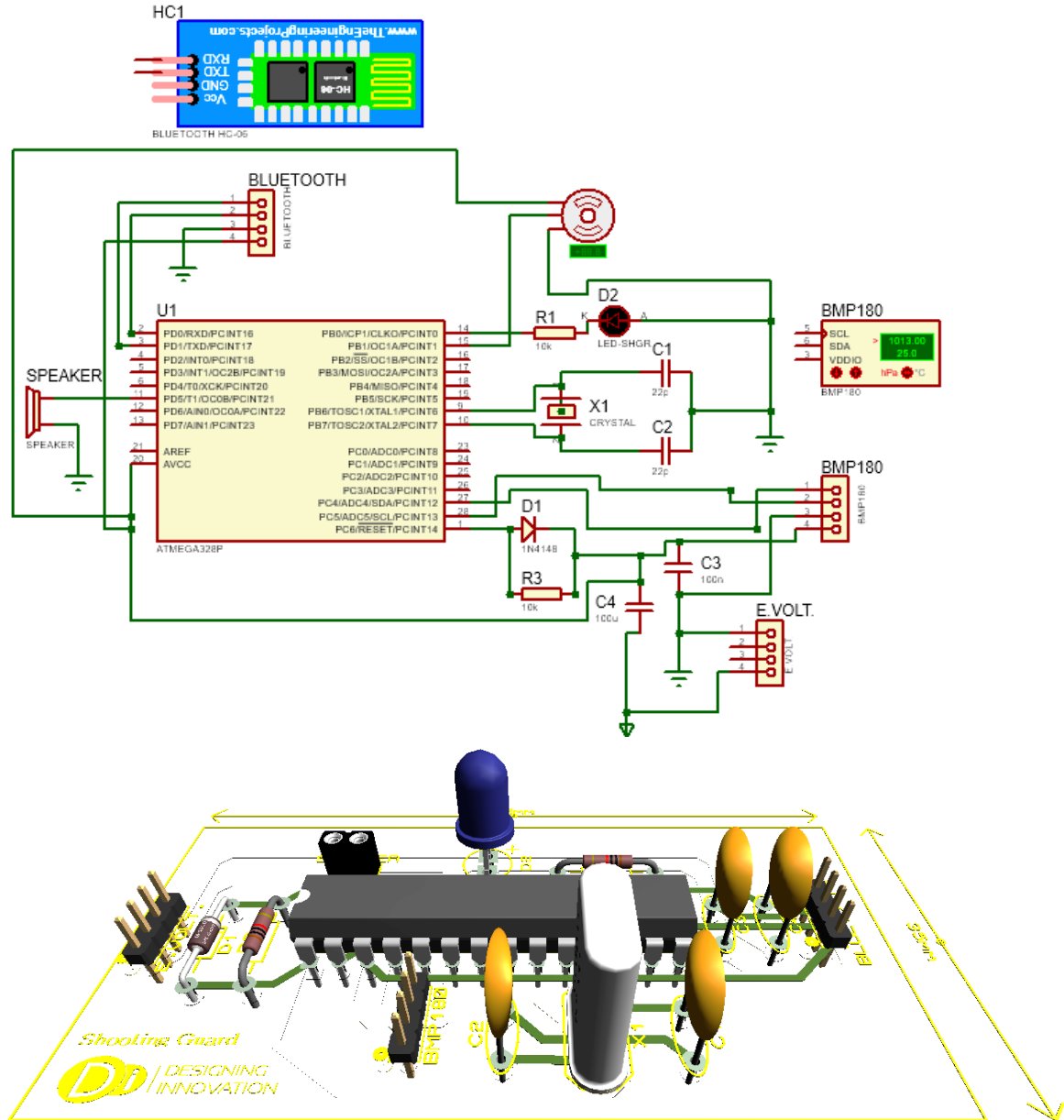
Ilustración 17 Montaje de SHGR en *protoboard*



Fuente. Autor

Teniendo en cuenta que se utiliza una batería de respaldo de 3,7V se ve necesario utilizar un Step Up o elevador de voltaje, para que el integrado pueda ser alimentado a los 5V que necesita para poder activar el paracaídas y cumplir su tarea, por otro lado la batería que este caso es de Li-ion debe poder ser cargada tanto por el PixHawk como de forma externa con un cargador convencional de 5V con entrada miniUSB, para lo cual se dispone en la integración del circuito, un módulo de carga, con protección de alta tensión. Al comprobar el funcionamiento con sus componentes individuales se procede a realizar el diseño de la placa en Proteus, que es un *software* para diseño de placas electrónicas. Ver ilustración 18.

Ilustración 18. Diseño de PCB del SHGR



Fuente. Autor

10. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para las pruebas del dispositivo se plantean tres momentos y circunstancias en las que se considera debe ser probado el SHGR, los cuales se describen a continuación, lo que permitirá dar vía libre a su implementación en un equipo comercial y finalmente viabilidad para trabajar en su optimización, mejora y distribución en el mercado en general.

10.1 PRUEBA 1: PRUEBA DE ESCALERA

Como primera prueba se determina, realizar la comprobación de que el código está haciendo lo programado y consiste en darle valores pequeños a las condiciones, valores que puedan ser comprobados con el dispositivo en la mano subiendo y bajando las escaleras de un edificio.

Para esta prueba se establece como altura de encendido del led que es el que indica que el UAV está en el aire, una altitud de 6,5 metros y a la altitud de apertura del paracaídas o de movimiento del servo, una altura de 0,5 metros. De este modo se procede a encender el equipo en la planta baja del edificio de la compañía y se asciende hasta la planta del cuarto piso.

En el primer piso del edificio se conecta el Arduino a un computador portátil, para energizar el dispositivo y establecer como valor de referencia inicial la presión atmosférica en ese punto, luego desde el monitor serial de Arduino se verifica las altitudes que va registrando el dispositivo mientras se van subiendo las escaleras, cuando se llega a el tercer piso se enciende el led y el servo no se mueve, así hasta el cuarto piso, luego se procede a bajar y al llegar al primer piso nuevamente el servo se activa, simulando el despliegue del paracaídas.

10.1.1 Resultado

Se encuentra que el dispositivo cumple con lo indicado por el código, se halla que efectivamente como lo indican las características técnicas del sensor, se debe tener en cuenta el rango o tolerancia con la que este mide la altitud, que se comprueba es entre 0,8 metros y 1 metro. Rango que debe ser tenido en cuenta en el momento de establecer altitudes de trabajo más grandes. En este experimento se evidencia que, si el sensor es afectado por corrientes de aire, la medición varía entre 0,5 metros y 1,5 metros, arrojando datos incorrectos en la medición, para lo cual se toma la precaución de protegerlo de estas corrientes de aire y además del polvo o basura que pueda taponar el sensor barométrico, pero cuidando que siempre que este tenga contacto con el aire, por lo que se emplea una espuma de baja densidad para cubrirlo.

Con este análisis y ajuste del dispositivo se determina que se puede proceder con la siguiente prueba.

10.2 PRUEBA 2: MULTIRROTOR

Para esta prueba se plantea montar el dispositivo en un UAV multirrotor, el cual tiene como computadora de vuelo un *PixHawk* y tiene la posibilidad de ser configurado desde *Mission Planner*, con lo anterior se decide tomar una de las salidas auxiliares del *PixHawk* para energizar el dispositivo SHGR a 5 voltios. En el *Mission Planner* se programa una corta misión en la que el multirrotor va a despegar del suelo y va alcanzar una altura de 40,5 metros, para luego iniciar un descenso a una velocidad 5 metros por segundo, para que al monto de alcanzar una altura de 32 metros el piloto proceda desde el control remoto a apagar los motores, simulando un estado de emergencia y en ese momento el SHGR accione el paracaídas. En el código se programa entonces que, a una altitud de 30,5m establezca la condición de que se encuentra en misión y que a una altitud de 30m en descenso se despliegue el paracaídas.

En esta prueba se hace uso de un paracaídas que sirvió de prototipo para los paracaídas que actualmente se instalan en los *Skywalker X8*, este paracaídas está conformado en su base con unos brazos en fibra de carbono que se sujetan a la estructura del UAV y con un tubo de carbono que hace de cuerpo principal, que es en donde se alberga la tela del paracaídas, el sistema de expulsión es un elástico que se tensiona al introducir la tela del paracaídas y es asegurado por una tapa construida en impresión 3D y un servo de engranajes metálicos. Ver figura 19. Puesto que el objetivo de este proyecto es netamente la construcción de SHGR, no se toma en cuenta el diseño, cálculos y construcción del sistema de paracaídas y se toman como herramienta experimental este prototipo de paracaídas.

Ilustración 19. Paracaídas y SHGR



Fuente. Autor

Teniendo el servo ensamblado el sistema de paracaídas se usa el cable que procede del servo para conectarlo al SHGR, el cual es energizado luego de esto por medio del cable que sale del *PixHawk* y de este modo se procede a ubicar este montaje en el multirrotor de modo que no obstruya o se atraviese en el camino de las hélices y además que no afecte el balance del multirrotor.

Por otro lado, y ya que en esta prueba no se va contar la posibilidad de conectar el dispositivo a un computador, se realiza la integración de un módulo Bluetooth HC-06, el cual permite conectar el SHGR a un dispositivo Android y así poder validar que se encuentra en funcionamiento y poder monitorear los momentos en los que debería actuar, incluso permite comparar los datos obtenidos con los registrados por el *PixHawk*, ya que este posee un módulo transmisor de telemetría conectado y es posible conectarse a este por medio de su receptor que se conecta al celular y registra los datos en la versión Android del *Mission Planner* llamada *Tower*.

10.2.1 Resultado

El UAV es elevado lentamente, mientras se monitorea que todo anda bien, sube a una altura de 40m, al pasar por los 30,5m efectivamente se enciende el led, lo que indica que el UAV ahora se encuentra resguardado por el SHGR, acto seguido se ubica lejos de árboles o cables y se procede a activar el freno de emergencia de los motores, lo que detiene los motores súbitamente, para así descender en caída libre hacia el suelo, rápidamente alcanza los 30m programados y efectivamente se despliega el paracaídas.

En la expulsión del paracaídas, este sale con poco impulso y la tela del paracaídas se abre despacio mientras el multirrotor cae, afortunadamente en los últimos 3 metros el paracaídas logra abrirse lo suficiente como para amortiguar el golpe y el UAV cae sano y salvo. Ver ilustración 20.

Ilustración 20 Aterrizaje con SHGR



Fuente. Autor

Se establece que para el caso de un multirrotor se debe diseñar un sistema paracaídas de menor tamaño que tenga la capacidad de abrirse más rápido e igual soporten el peso que debe frenar en la caída, por otro lado, se encuentra positivo la adición del *buzzer* que alarme a quien pueda encontrarse en el área de aterrizaje.

Así mismo se termina que la altitud de despliegue del paracaídas debe ser programada con un valor mayor o igual a los 40 metros si se cuenta con una tela de paracaídas tan grande, además es positivo considerar las condiciones del viento, lo cual determina si la tela del paracaídas podría recibir una corriente de viento que lleve al multirrotor a aterrizar en un punto diferente al predeterminado.

10.3 PRUEBA 3: SKYWALKER X8

La aeronave *Skywalker X8* se encuentra equipada con una caja fuerte fabricada en materiales compuestos completamente, la cual llamamos *BOX®*, en el cual se encuentran diferentes módulos los cuales protegen y albergan diferentes componentes que permiten el funcionamiento de la aeronave. Uno de estos módulos es el del paracaídas el cual cuenta con un sistema de expulsión más sofisticado y se encuentra conectado al *PixHawk* del avión, este es accionado manualmente por el piloto. Para el montaje de esta prueba se instala el SHGR con su batería de respaldo, lo que permitirá realizar la prueba simulando que el UAV se ha quedado sin batería y aun así le es posible desplegar el paracaídas autónomamente.

Esta vez el código se programa para el que a los 30,5 metros el SHGR entre en modo alerta y encienda el Led que indica que la aeronave se encuentra en misión, así mismo para el despliegue del paracaídas se programa una altitud de 45m, altitud a la cual el paracaídas tiene tiempo de abrirse correctamente y hay posibilidad de actuar manualmente en caso de que el SHGR falle.

10.3.1 Resultado

Siendo este equipo de gran envergadura, se presentaron inconvenientes para poder realizar la prueba ya que esta debía hacerse en una pista preparada o en un lugar muy abierto para realizarla de forma segura, lo que factores ambientales, de ocupación y logísticos, impidieron realizar la prueba en varias ocasiones, aun así, con este retraso se logra realizar la prueba.

Teniendo condiciones ambientales favorables y viento estable, el avión asciende tranquilamente con ayuda de la catapulta, se le permite llegar a 80m, activando el Led indicador en los 30,5m programados, se hacen giros alrededor de la pista comprobando cual posición de entrada a pista podría ser más pertinente, después de algunos minutos se procede a entrar en descenso, cerca de los 50m se apaga el motor y se colocan las superficies de control de forma que le permitan un cabeceo hacia arriba a el avión mientras consigue alcanzar la altura programada de apertura. Con ayuda de su batería de respaldo el SHGR despliega el paracaídas a los 45m programados y le permite caer al avión suavemente en un área cercana a la pista, lo que resulta muy satisfactorio como resultado ya que, con los modos de apertura sin el SHGR, el factor humano influía de sobremanera, ya que coordinar motrizmente una apertura adecuada requiere de mucha destreza y o siempre se conseguía realizar esta tarea con éxito.

Ilustración 21. Aterrizaje exitoso de Skywalker X8 con SHGR instalado.



Fuente. Autor.

10.4 LECCIONES APRENDIDAS.

- La inclusión asertiva de sistemas redundantes en la aviónica de las aeronaves convencionales marca una pauta importante en lo que a seguridad se refiere, por lo que se considera pertinente la investigación y el desarrollo de dispositivos como el SHGR, que en su fase inicial resulta ser prometedor y abre la puerta a que la compañía siga invirtiendo en este tipo de iniciativas.
- En el mundo es latente el hecho de que la meticulosa y bien librada batalla por resguardar la seguridad del aire, está en peligro con la masificación de dispositivos como los drones o UAV's y por ello se justifica como ingenieros aeronáuticos colaborar desde los diferentes frentes, con la protección de estos ideales que ha puesto como referente la aviación en el mundo
- La constante indagación de los problemas que acontecen en la industria que con diferentes aplicaciones hace uso de los drones o UAV's, promete como ha sido en este caso, que desde la ingeniería pueda darse soluciones loables al alcance

de los clientes, quienes pueden dar su voto de confianza a compañías que impulsan el desarrollo y son precedentes marca país.

- Se concibe la posibilidad de desarrollar toda una línea de paracaídas para los diferentes tipos y modelos de drones, en los cuales se incluya el dispositivo como parte del sistema, esto con la certeza de que se ha conseguido un desarrollo óptimo de lo planteado con este proyecto, pues se entiende que hay muchas cosas por mejorar, en cuanto a la optimización del código y a la presentación del producto final.
- Para la etapa de comprobación es satisfactorio el resultado utilizando la plataforma de Arduino y sus sensores, pero para la producción del dispositivo final se debe buscar adquirir componentes individuales que abaraten los costos y también garanticen su óptimo funcionamiento.
- Resulta necesario realizar más pruebas para establecer alturas indicadas en las que resulte seguro desplegar el paracaídas para cada plataforma, teniendo en cuenta que para las aeronaves y los multirrotor se encontró grandes diferencias tanto en aptitud como en aptitud de vuelo a la que se debe encontrar la plataforma en el momento del aterrizaje.
- Se hace acotación de que en dispositivos recreativos la incorporación de este dispositivo podría no resultar viable ya que estos son controlados con variaciones de altura constantes, lo que no permitiría al SHGR reaccionar convenientemente, a lo que se deja abierto el campo para en el futuro encontrar la forma de codificar y encontrar patrones de alerta que ayuden a desarrollar un dispositivo para esta aplicación.
- Finalmente se percibe positivamente la integración de la academia y su entusiasmo por la investigación y la industria y sus necesidades, lo que abre las puertas a un provechoso y vinculante lazo comercial y de aportes entre las partes.

11. CONCLUSIONES

En este proyecto se diseñó, construyó e integro el dispositivo electrónico SHGR en los vehículos aéreos no tripulados, de la compañía para la que se realizó este desarrollo, obteniendo como resultado el despliegue autónomo del paracaídas, que se venía accionando por parte del piloto desde el control remoto de forma manual.

Se determino que las tres causales de accidentes más frecuentes en la operación de los UAV son las de, ausencia de un sistema de recuperación con un 37,5%, la de falla o desconexión de la batería con un 36,4% y las atribuidas al factor humano con un 27,6%. Con lo anterior se planteó que el dispositivo estuviera equipado con un sensor barométrico que pudiera medir la altitud y de este modo se programó para que con esta medición tomara la decisión automáticamente de desplegar el paracaídas, por otro lado se incluyó en su diseño y construcción una batería de respaldo que le dé la posibilidad de operar si la energía de la batería del UAV se agota y finalmente se integró en los sistemas de paracaídas que la compañía ya tenía desarrollados sin necesidad de afectar su funcionamiento mecánico.

En el Diseño se estableció que la incorporación de tecnologías disponibles y *open-source*, redujo los tiempos para la implantación de este desarrollo, ya que permitió adecuar los componentes a las necesidades particulares de este proyecto y así poder conectar el dispositivo fácilmente a los sistemas de paracaídas que ya se encontraban funcionando y a los autopilotos que controlan los UAV de la compañía para la que se realizó este desarrollo.

El prototipo inicial sirvió para comprobar lo establecido en el diseño preliminar del algoritmo y así refinar las condiciones establecidas en el programa, tales como las diferencias en las alturas de operación, tanto del sistema multirrotor, como del *Skywalker x8*.

Finalmente, con las pruebas se obtiene que para el sistema multirrotor es necesario programar una altura superior a los 40 metros para el accionamiento del paracaídas, al utilizar el paracaídas prototipo que se empleó para la prueba de multirrotor, en el caso del *Skywalker X8* la altura programada de 30,5 metros resulto en un aterrizaje seguro.

12. COSTOS RELACIONADOS AL PROYECTO

Tabla 6. Tabla de costos del proyecto

MANO DE OBRA					
ITEM	UNIDAD	# UNIDADES	\$ UNIDAD	SUB TOTAL	FINANCIACIÓN
Investigador	Hora	250	4.000	800.000	DI
Asesor	Hora	40	15.000	600.000	DI
			Subtotal	2'200.000	
SERVICIOS					
ITEM	UNIDA D	# UNIDADES	\$ UNIDA D	SUB TOTAL	FINANCI ACIÓN
Sensor BMP 180	Unidad	1	15.000	15.000	DI
Arduino Nano	Unidad	1	12.000	12.000	DI
Relé	Unidad	1	8000	8.000	DI
Modulo Bluetooth	Unidad	1	15.000	15.000	DI
Insumos	Unidad	9	2,200	19.800	DI
Impresiones 3D	Hora	5	2500	12.500	DI
Módulo de carga	Unidad	1	8000	8.000	DI
Step UP	Unidad	1	8000	8.000	DI
ATMEGA 328P	Unidad	1	18.000	18.000	DI
Batería li-ion	Unidad	1	15,000	15,000	DI
			Subtotal	131,300	DI
Total				\$2'331.300	

Fuente. Autor.

BIBLIOGRAFIA

AERONAUTICA CIVIL DE COLOMBIA. “Circular reglamentaria N° 002”. [En línea]. [Consultado el 12 de octubre 2017]. Disponible en: <https://www.aerocivil.gov.co>

AERONAUTICA CIVIL DE COLOMBIA. “Código de comercio”. [En línea]. [Consultado el 16 de septiembre de 2017]. Disponible en: <https://www.aerocivil.gov.co>

AGENCIA DE NOTICIAS TECNOLÓGICAS. “Los 14 usos de Drones que seguro no conocías”. [En línea]. [Consultado el 02 de octubre de 2017]. Disponible en: <http://agencia.donweb.com/los-14-usos-de-drones-que-seguro-no-conocias/>

AGENCIA NACIONAL DE AERONAUTICA CIVIL DE ARGENTINA. “Listado de novedades”. [En línea]. [Consultado el 18 de septiembre 2017]. Disponible en: <http://www.anac.gov.ar/anac/web/#&panel1-1>

AUSTIN, R. (2010): «Unmanned Aircraft Systems. UAVS Design, Development and Deployment». John Wiley & Sons Ltd. Chichester (Reino Unido).
Ballistic Recovery Systems Inc. (n.d.). BRS History. Retrieved April 5, 2008, from Ballistic Recovery Systems.

CADAVID, Diego “Legislación aeronáutica” [En línea]. [Consultado el 12 Octubre de 2017]. Disponible en: (<http://es.scribd.com/doc/33716667/Legislacion-aeronautica#scribd>).

CAPTAIN, Tom & Hussain, Aijaz, 2017 Global aerospace and defense sector outlook Growth prospects remain upbeat, Deloitte, [en línea] (2017) <<file:///H:/FULL/REF/2017-global-ad-outlook-january.pdf>> [citado el 12 de diciembre de 2017]

EMSLEY Jhon, 2001 WATER TREATMENT SOLUTIONS – LENNTECH, <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm>

ESPARZA, Gerardo Ruiz, El sector aeronáutico en pleno desarrollo, Diario El Financiero, México, [en línea] (2017) <<http://www.elfinanciero.com.mx/opinion/el-sector-aeronautico-en-pleno-desarrollo.html>> [citado el 12 de diciembre de 2017]

FEDERAL AVIATION REGULATIONS, “Part 23 – Airworthiness standards: Normal, utility acrobatic and commuter category airplanes”, Federal Aviation Administration, 1964

FISICALAB, presión atmosférica [en línea] noviembre 2017. [citado 14 de noviembre de 2017] Disponible en internet: <https://www.fiscalab.com/apartado/presion-atmosferica#contenidos>

HOLLMANN Martin, Composite aircraft design, Estados unidos, AIRCRAFT DESIGN INC, 1983.

ICONTEC INTERNATIONAL. "El compendio de tesis y otros trabajos de grado". [En línea]. [Consultado 12 Julio 2017]. Disponible en: http://www.ICONTEC.org/BancoConocimiento/C/compendio_de_tesis_y_otros_trabajos_de_grado/compendio_de_tesis_y_otros_trabajos_de_grado.asp?CodIdioma=ESP.

INSTITUCIÓN NACIONAL DE AERONAUTICA CIVIL DE VENEZUELA. "Leyes y reglamentos vigentes". [En línea]. [Consultado el 25 de septiembre de 2017]. Disponible en: <http://www.inac.gob.ve/home.php>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN. Referencias documentales para fuentes de informaciones electrónicas. NTC 4490. Bogotá: El Instituto, 1998, p. 1 – 23

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Sexta actualización. Bogotá: El Instituto, 2006, p.1

HERNÁNDEZ ROBERTO, FERNÁNDEZ CARLOS Y BAPTISTA PILAR, Metodologías de la investigación, México: McGraw-Hill, 2003.

NEWCOME, L. R. (2004): «Unmanned Aviation. A Brief History of Unmanned Aerial Vehicles». American Institute of Aeronautics and Astronautics. Reston, Virginia (EE.UU.).

OBSERVATORIO Industrial del Sector de Fabricantes de Bienes de Equipo, MCA-UGT, El sector aeronáutico y espacial español: Situación actual y perspectivas, [en línea] (2011) [citado 14 de noviembre de 2017] Disponible en internet: http://www.minetad.gob.es/industria/observatorios/SectorBienes/Actividades/2011/MCA-UGT/EI_Sector_Aeronautico_y_Espacial_Espa%C3%B1ol_Situacion_Actual_y_Perspectivas.pdf [citado el 12 de diciembre de 2017]

ORGANIZACIÓN DE LA AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL. "Certification of RPA". [En línea]. [consultado el 14 de agosto de 2017]. Disponible en: <http://www.icao.int/Pages/default.aspx>

TRANSPORT CANADA AVIACIÓN CIVIL. "Flying a drone or an unmanned

air vehicle (UAV) for work or research". [En línea]. [Consultado el 15 de septiembre de 2017]. Disponible en: <https://www.tc.gc.ca/eng/civilaviation/menu.htm>

TRANSPORT CANADA AVIACIÓN CIVIL. "Flying a drone or an unmanned air vehicle (UAV) for work or research". [En línea]. [Consultado el 17 de agosto de 2017]. Disponible en: <https://www.tc.gc.ca/eng/civilaviation/menu.htm>

MUNDO DRONE. "Historia de los Drones". [En línea]. [Consultado el 30 de septiembre de 201]. Disponible en: mundrone.blogspot.com/p/historia-de-los-drones.html

MUÑOZ, MIGUEL ANGEL, Presión barométrica, [en línea] noviembre de 2017. [citado 14 de noviembre de 2017] Disponible en internet: <http://www.manualvuelo.com/PBV/PBV11.html>

Y. ORTEGA, Departamento de Física de Materiales, Facultad de Ciencias Físicas. Universidad de Madrid, España. (Consultado: Agosto 2017)

ANEXO 1. CÓDIGO EMPLEADO PARA EL FUNCIONAMIENTO DE SHGR

```
#incluyen <Servo.h> // Librería para trabajar con servo
#include <SFE_BMP180.h> // Librería para trabajar sensor altímetro
#include <Wire.h> //Incluimos la librería de comunicación I2C
//Se crea una variable objeto llamado "pressure"

SFE_BMP180 pressure;
Servo parachute; // se le da nombre al servo
double baseline; // se asigna una variable a el dato de referencia
const int led = 8; // se asigna un pin al LED

void setup() {
  parachute.attach(9);
  pinMode(8,OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("REBOOT"); //se inicializa el sensor
  if (pressure.begin())
    Serial.println("BMP180 init success");
  else
  {
    // si el sensor no registra, nos pregunta ¿si está conectado?

    Serial.println("BMP180 init fail (disconnected?)\n\n");
  }
}
```

```
while(1);
}
baseline = getPressure();
//imprime en el monitor serial los datos recibidos de referencia
Serial.print("baseline pressure: ");
Serial.print(baseline);
Serial.println(" mb");
}
void loop()
{
double a,P; //se asignan nombres a las variables de altitud y presión
P = getPressure();
a = pressure.altitude(P,baseline);
//registra los datos obtenidos

Serial.print("relative altitude: ");
if (a >= 0.0) Serial.print(" "); // pone un espacio antes del valor positivo
Serial.print(a,1);
Serial.print(" meters, "); // escribe unidades en metros
if (a >= 0.0) Serial.print(" "); // pone un espacio antes del valor positivo
Serial.print(a*3.28084,0);
Serial.println(" feet"); // escribe unidades en pies
//se establece la condición de altura inicial

if (a>=30.5){ //enciende el led para indicar que el UAV se encuentra en el aire.
digitalWrite(8,HIGH);
delay (500);
} // Se establece la altura mínima en la que el paracaídas debe abrirse.
if (a <= 30.5){

while (digitalRead(led)==HIGH){

digitalWrite(8,LOW); // se pregunta si la primera condición se cumple

parachute.write(250); // con la primera condición cumplida, abre el paracaídas

parachute.write(0); // se prepara para repetir la acción si es necesario

digitalWrite(8,HIGH); // parpadeo del led como forma de baliza

return; // repite la acción
}
}
delay(200);
}
```




```
....
{
    //espera por una medida de temperatura
    delay(status);
    status = pressure.getTemperature(T);
    if (status != 0)
    {
        //obtiene una medida de temperatura
        status = pressure.startPressure(3);
        if (status != 0)
        {
            //espera por una medida de presión
            delay(status);
            status = pressure.getPressure(P,T);
            if (status != 0)
            {
                //obtiene una medida de presión
                return(P);
            } // Escribe en el monitor serial si alguna de las mediciones no puede darse.
            else Serial.println("error retrieving pressure measurement\n");
        }
    }
}
....
```

ANEXO 2. INFORMACIÓN GENERAL SOBRE EL LUGAR DONDE SE REALIZA EL PROYECTO

Designing Innovation es una compañía que brinda soluciones de ingeniería para el sector aeroespacial, en la compañía se desarrollan diferentes líneas entre las que se destacan la fabricación con materiales compuestos, la línea de metalmecánica haciendo uso de CNC (Control Numérico Computarizado), la reparación y producción de partes para la aviación civil y militar, además de la línea de aeronaves no tripulados UAV's.

VISIÓN

Ser una de las principales compañías desarrolladoras de tecnologías y productos en materiales compuestos del sector aeroespacial del continente americano.

OBJETIVOS DE LA COMPAÑÍA

- ✓ Desarrollar productos de alto valor agregado para el mercado de Drones industriales en América y el Mundo.
- ✓ Ser líderes en el desarrollo de productos en materiales compuestos para el campo aeroespacial.
- ✓ Ser una compañía referente de Innovación en América y el Mundo
- ✓ Ser una compañía atractiva para el talento humano y generadora de valor para sus clientes, empleados y socios.

Apoderada de la manufactura y ensamble de los productos que la compañía comercializa, compuesta por los departamentos de diseño, prototipado, mecanizado, materiales compuestos, electrónica, programación, embalaje y calidad, dando cumplimiento a la cadena de valor establecido por la implementación de PLM en la compañía, con miras a lograr la certificación en la normativa 9001 y 9100 para la calidad en el desarrollo de productos en la industria aeronáutica y Aeroespacial, para de esta forma garantizar productos competitivos a nivel mundial, además de los lineamientos estipulados en la norma AC7118 emitida por Nadcap, que es una iniciativa de cooperación de la industria aeronáutica mundial gestionada por el PRI (*Performance Review Institute*) en colaboración con el IAQG (*International Aerospace Quality Group*), que persigue mejorar la calidad y reducir costos.

Además, se desarrollan proyectos externos, además de los propios de la compañía, teniendo en cuenta requerimientos especiales, finalidad y normatividad a la que pueda tener lugar la solicitud. Como ejemplos de esto se han desarrollado o cotizado, productos y servicios para la fuerza aérea, la Aero civil, empresas operadoras regulares, empresarios y profesionales de la industria en general, por nombrar algunos.

Ilustración 22. Diagrama de ciclo de vida de producto.



Fuente. Ilustración. Disponible en <https://www.diinnovation.com/>

INNOVACIÓN ABIERTA

La tendencia en cualquier mercado es bajar costos y desarrollar productos que generen valor al usuario final.

Designing Innovation es una compañía de desarrollo de producto y de implementación tecnológica que ha visto en la innovación abierta la manera de generar mayor valor agregado a nuestros clientes. Es por esta razón que usamos el frame del avión *Skywalker X8*, pero llevándolo a un nivel de ingeniería que lo aleja de su aeronave original. Este modelo tiene una excelente eficiencia aerodinámica, bajo peso, gran estabilidad y muy bajo costo, haciéndolo una plataforma perfecta para diferentes operaciones, sin temor a que un golpe o daño menor termine en una



reexportación para un mantenimiento costoso y un tiempo muerto de operación de hasta meses como ocurre en muchos casos.